



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Futuro marco normativo en Europa en acústica de la edificación

Machimbarrena, Maria; Rasmussen, Birgit; Fausti, Patrizio

Published in:

S12 Acústica de la edificación. Normativa, rehabilitación y casos prácticos

Publication date:

2014

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Machimbarrena, M., Rasmussen, B., & Fausti, P. (2014). Futuro marco normativo en Europa en acústica de la edificación. In *S12 Acústica de la edificación. Normativa, rehabilitación y casos prácticos* (pp. 28-37). Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja. CSIC.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Cursos Avanzados

Eduardo Torroja

Durabilidad Rehabilitación y Sostenibilidad

LIBRO DE PONENCIAS

del 22 de abril al 26 de junio de 2014

S12

Acústica de la edificación. Normativa, rehabilitación y casos prácticos



Publicaciones del Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja. IETcc-CSIC

LIBRO DE PONENCIAS

SEMINARIO 12

Acústica de la edificación. Normativa, rehabilitación y casos prácticos

Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja. IETcc
Consejo Superior de Investigaciones Científicas. CSIC

**CURSOS AVANZADOS EDUARDO TORROJA:
DURABILIDAD, REHABILITACIÓN Y SOSTENIBILIDAD**

Seminario 12

ACÚSTICA DE LA EDIFICACIÓN. NORMATIVA, REHABILITACIÓN Y CASOS PRÁCTICOS.
4 y 5 de Junio de 2014

© Los autores

ISBN: 978-84-7292-374-4

Depósito legal: M-11318-2014

Directoras del seminario:

Amelia Romero Fernández y Belén Casla Herguedas

Edita:

Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja. CSIC
C/ Serrano Galvache, 4. 28033. Madrid

Presentación del curso

Este año celebramos el 80º aniversario de la fundación del Instituto de la Construcción y la Edificación, antecesor del actual Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IETcc-CSIC). En Mayo de 1934 Eduardo Torroja sacó a la luz el primer número de la revista “Hormigón y Acero” y escribía: *“No pretendemos ocupar el sitio de nadie. Tenemos como objetivos primordiales poner en contacto más directo a la técnica española con las figuras extranjeras de más prestigio en estas cuestiones; establecer un intercambio de ideas entre los campos de nuestros ingenieros y nuestros arquitectos, intentando la necesaria compenetración de ambas clases de conocimientos; constituir un resumen de cuanto interesante se haga o escriba en el mundo sobre estudios y métodos de construcción, proporcionando un elemento de archivo, documentado y en orden, fácil para su consulta”*. 80 años después uno de los objetivos fundamentales del IETcc sigue siendo la transferencia de conocimientos, la difusión de los resultados de las actividades de investigación que en él se desarrollan y el intercambio de conocimientos entre los expertos de las distintas áreas. De esta forma, además de las revistas publicadas en el IETcc, se desarrollan habitualmente cursos especializados, como los Cursos Avanzados Eduardo Torroja.

Este año celebramos la tercera edición de estos Cursos Avanzados entorno a tres ejes: la Durabilidad, la Rehabilitación y la Sostenibilidad en la Construcción.

Durabilidad: Se abordarán los materiales y su comportamiento en un entorno en continuo cambio. Este conocimiento permite el diseño de estructuras más durables o resistentes a ambientes especialmente agresivos. Asimismo, una adecuada inspección y mantenimiento permiten extender la vida útil de las estructuras y los edificios y realizar, en su caso, intervenciones apropiadas que permitan unos adecuados niveles de seguridad y de uso.

Rehabilitación: La actual crisis económica ha desplazado los recursos y los esfuerzos destinados a la construcción desde una desaforada, y posiblemente irracional, inversión en obra nueva hacia un mucho más moderado y controlado esfuerzo por rehabilitar y reutilizar nuestro patrimonio construido. En este curso se tratarán temas como la accesibilidad en edificación existente, habitabilidad y descontaminación, el estudio de la energética o de la seguridad en edificios existentes.

Sostenibilidad: No podemos ser ajenos al impacto ambiental y al ciclo de vida de las estructuras. En este bloque del curso se abordarán los hormigones especiales, la habitabilidad, la acústica de la edificación, la prefabricación y la innovación en la construcción.

La presente publicación forma parte de la serie de 17 publicaciones, asociadas cada una de ellas a uno de los diferentes Seminarios que constituyen el curso, siendo cada uno de ellos un libro independiente.

Las ponencias aquí recogidas están elaboradas por los profesores de los diferentes seminarios. El perfil de estos profesores, procedentes

del campo de la investigación, de la universidad y de la empresa, así como la tradición formativa de las instituciones implicadas, hace de este curso un referente técnico internacional.

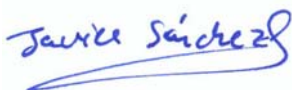
Para llegar al máximo número de alumnos se han utilizado las últimas tecnologías, lo que ha permitido la asistencia de alumnos de todo el mundo sin necesidad de desplazarse hasta la sede del curso, radicada en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja en Madrid.

Consideramos que estas ponencias van más allá del propio curso y que podrán seguir siendo documentos de interés en el futuro, pa-

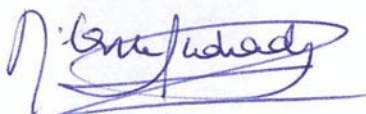
sando a formar parte de las colecciones de publicaciones del IETcc.

Por último, no sería justo cerrar esta presentación sin agradecer el enorme esfuerzo realizado por todas las personas involucradas en su organización, por los directores de seminario y por todo el profesorado, tanto de los centros organizadores como de empresas y otras entidades. Especial reconocimiento manifestamos hacia los Ministerios de Fomento e Industria, que han manifestado su apoyo al curso, así como a los patrocinadores y otras entidades que han colaborado con el mismo, y que con su apoyo y estímulo han hecho posible la organización de un curso tan complejo como éste.

Madrid, la dirección del curso.



Javier Sánchez Montero
Director



Mª Carmen Andrade Perdrix
Directora honorífica



José A. Tenorio Ríos
Director

Seminario 12.

Acústica de la edificación. Normativa, rehabilitación y casos prácticos

El confort acústico de una vivienda es un aspecto esencial de la calidad de vida de sus usuarios. En nuestro país un porcentaje importante de la población declara tener problemas de ruido en su vivienda. Una correcta aplicación de los principios de la acústica arquitectónica puede mejorar considerablemente la calidad acústica de los edificios, contribuyendo a un mayor confort de sus usuarios.

Este confort es cada vez más demandado en la sociedad actual y debe ser mejorado no solo en las edificaciones nuevas sino en el parque edificatorio existente. Los nuevos estándares de edificación hacen que lo que ayer eran viviendas adecuadas hoy no lo sean y que crezca el volumen de edificios necesitados de intervención y, esta intervención, es una oportunidad única para aumentar la calidad acústica de los edificios que habitamos consiguiendo una mejora continua que adapte nuestros edificios existentes a los estándares actuales y los lleve incluso a cumplir los objetivos acústicos establecidos.

El problema del ruido en las viviendas está motivando una transformación en el ámbito de la acústica de los edificios; desde una legislación relativamente nueva con nuevos y mejorados niveles de aislamiento acústico, a la búsqueda de nuevos procedimientos de medida y evaluación del

aislamiento acústico in situ y hacia el desarrollo imprescindible de nuevos productos, técnicas y sistemas constructivos; todo ello apostando por una mayor calidad acústica de las edificaciones.

Dentro de este contexto resulta interesante impartir un nuevo seminario, el de Acústica de la Edificación, dentro de esta edición de los Cursos Avanzados Eduardo Torroja. El objeto de este seminario, es hacer un barrido sobre todos estos aspectos, ofreciendo al público una visión actualizada, a través de contenidos teóricos y prácticos, de la acústica en el sector de la construcción.

No podemos pasar por alto la colaboración de todos los ponentes y patrocinadores que han confiado en nosotras para hacer posible la celebración de este seminario. Gracias, sin vosotros no habría sido posible.

Nos gustaría despedirnos lanzando el mensaje de que entre todos debemos hacer un esfuerzo por contribuir eficazmente a la mejora de la calidad de la edificación en su aspecto acústico. Sería para nosotras una gran satisfacción si desde este seminario hemos animado e impulsado a la audiencia hacia un mayor interés y motivación para conseguirlo.

Directores de seminario,

Amelia Romero

Belén Casla

INDICE

Normativa en la rehabilitación acústica de edificios	10
Luis Vega Catalán	
Herramientas de apoyo para la rehabilitación acústica de edificios	17
Belén Casla Herguedas Amelia Romero Fernández M ^a Teresa Carrascal García	
Futuro marco normativo en Europa en acústica de la edificación	28
María Machimbarrena Gutiérrez Birgit Rasmussen Patrizio Fausti	
Metodología de ensayos de aislamiento acústico	38
José Alberto Trujillo	
Criterios para la elaboración de planes de muestreo para certificación acústica en promociones de viviendas	52
José Alberto Trujillo	
Caracterización acústica de sistemas de evacuación de aguas residuales	63
Borja Frutos Vázquez.	
Edificios existentes con estructura de madera. Rehabilitación y acústica	72
Giovanni Muzio	
Ejemplo de rehabilitación acústica de forjados de madera	73
Amelia Romero Fernández Belén Casla Herguedas M ^a Teresa Carrascal García	
Retos en construcción con madera: diseño acústico de edificación en altura	86
Marta Fuente González Mariana Pérez Abendaño	

Ejemplo de caracterización acústica de estructuras de madera en vivienda unifamiliar adosada **100**

Belén Casla Herguedas
Amelia Romero Fernández
M^a Teresa Carrascal García

Experiencia en materia acústica en proyecto, ejecución y puesta en obra **110**

Teresa Marzo Peligero

Rehabilitación acústica de soluciones cerámicas mediante el tratamiento de sus uniones **139**

M^a Teresa Carrascal García
Amelia Romero Fernández
Belén Casla Herguedas

Ejemplos de rehabilitación para el aislamiento y el acondicionamiento acústico **151**

Alejandro José Sansegundo Sierra

Normativa en la rehabilitación acústica de edificios

Luis Vega Catalán

Arquitecto. D. G. de Arquitectura, Vivienda y Suelo. Ministerio de Fomento.

Palabras clave: rehabilitación, reglamentación, acústica, DB HR.

Resumen

Toda intervención en los edificios existentes debe perseguir la mejora progresiva de las condiciones de la edificación para adaptarla a estándares de calidad actuales, siempre que sea técnica, económica y funcionalmente viable. En este sentido, el trabajo del Ministerio de Fomento, con el apoyo técnico del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, ha consistido en la redacción de unos criterios de aplicación del DB HR a edificios existentes, que son el marco para el cumplimiento del DB HR en obras de ampliación, mejora o cambio de uso.

El objetivo de esta ponencia es ahondar en los fundamentos de dichos criterios, y mostrar cómo afectan a la aplicación del DB HR.

1 INTRODUCCIÓN

La aplicación de la reglamentación en el ámbito de la rehabilitación es una problemática difícil, que preocupa a todos los técnicos. Como alcanzar los niveles de prestación demandados socialmente y recogidos en la reglamentación cuando se opera sobre edificios existentes, salvaguardando la seguridad jurídica de los diferentes agentes es un problema que requiere de un amplio debate.

Se reconoce, por una parte, la imposibilidad en algunos casos de alcanzar el nivel exigencial del CTE con medidas alternativas, por ello se habla de “la mayor adecuación posible” y no de “compensación”. Por otra parte, se establece la necesidad de dejar constancia del nivel de prestación alcanzado para que el usuario tenga conocimiento del mismo y pueda valorar mejor la intervención.

Por lo tanto, el objetivo básico en la intervención sobre edificios existentes es mejorar las prestaciones iniciales del edificio para adecuarlo en la medida de lo posible a las necesidades del usuario (individuales y colectivas), sin menoscabar en cualquier caso las condiciones preexistentes. En este tipo de intervenciones no es posible establecer una exigencia de carácter universal, pues de las características específicas de cada intervención se deriva un determinado nivel de adecuación razonable, técnica y económicamente viable, y respetuoso con el valor arquitectónico y patrimonial del edificio (véase figura 1).

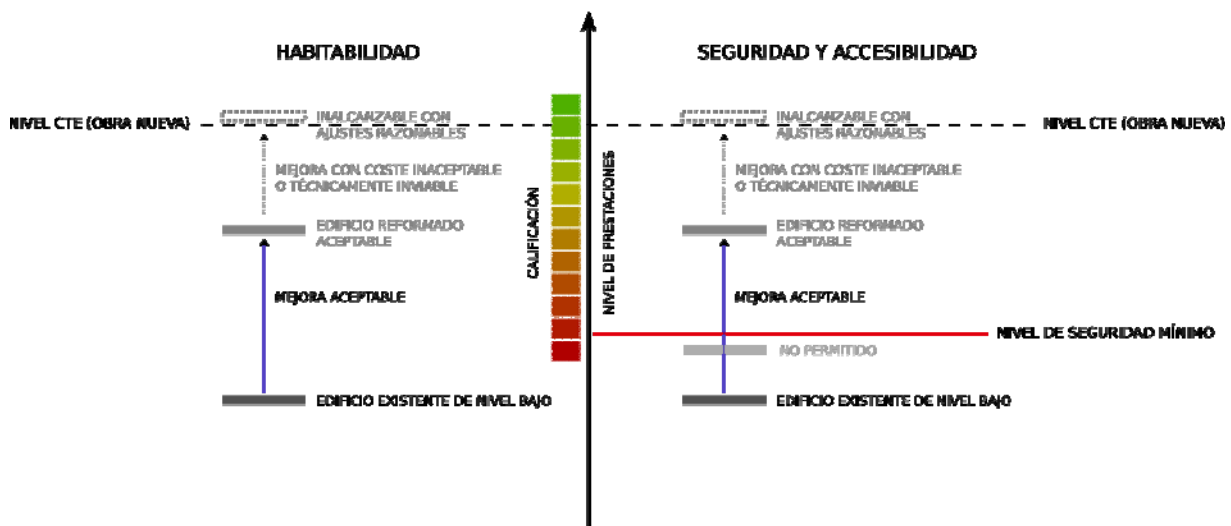


Figura 1. Concepto de mejora aceptable.

2 CRITERIOS GENERALES DE APLICACIÓN DEL CTE EN EDIFICIOS EXISTENTES Y SU PARTICULARIZACIÓN PARA EL DB HR

El objetivo lógico de toda obra de rehabilitación es la mejora de los edificios hasta alcanzar el estándar actual o próximos al estándar actual y así se ha querido recoger en el CTE, donde se han definido una serie de criterios generales comunes a todos los requisitos que han de cumplirse para todas las intervenciones, siempre que no se especifique lo contrario en algún documento básico.

Salvo en contadas excepciones, las obras de rehabilitación tienen como única finalidad mejorar las condiciones acústicas, sin embargo, cada obra de rehabilitación puede ser una oportunidad aumentar la calidad acústica de nuestros edificios. Estos criterios generales y su particularización para el caso del DB HR son:

- **Criterio de no empeoramiento:** Lógicamente no se pueden reducir las condiciones de seguridad y habitabilidad preexistentes cuando éstas sean menos exigentes que las establecidas en los DBs. En el

caso del requisito de protección frente al ruido, si las condiciones existentes son más exigentes únicamente podrán reducirse hasta el nivel del DB HR.

- **Criterio de flexibilidad:** En determinadas ocasiones, se permite limitar la intervención al mayor nivel de adecuación compatible con las condiciones de la intervención, aunque no se llegue a satisfacer los niveles de exigencia de los documentos básicos, es decir, aún cuando no se llegue a cumplir el DB HR, es conveniente conseguir una mejora. Los casos concretos en los que la aplicación del criterio de flexibilidad está permitida se especificaran en los siguientes apartados.

Es importante subrayar que cuando no se alcancen los niveles exigidos en el DB HR, debe dejarse constancia en la **documentación final de la obra del nivel de prestación alcanzado y los condicionantes de uso y mantenimiento**.

3 DETERMINACION NIVELES DE AISLAMIENTO ACÚSTICO ALCANZADOS

En fase de proyecto, la determinación del nivel de aislamiento acústico que puede alcanzarse tras una intervención en un edificio existente siempre es compleja, por varios motivos:

- Los edificios existentes suelen estar contruidos con elementos que no son habituales en la actualidad, cuyas técnicas pueden haber desaparecido y de los que apenas existe información. Dependiendo del tipo de edificación y año de construcción, es frecuente encontrar elementos constructivos que no han sido nunca caracterizados acústicamente, ya que no han sido ensayados y no suelen figurar en manuales, tratados, el catálogo de elementos constructivos...etc. Se trata por ejemplo, de aquellos edificios contruidos con anterioridad a 1940 cuya estructura suele estar formada por de forjados con viguetas de madera y entrevigado relleno de yesones o cascotes y muros de entramado de madera a base de pies derechos y carreras rellenos de fábrica, cascotes, yesones o adobe. El hecho de desconocer las prestaciones de estos elementos suele dificultar el diagnóstico acústico de los edificios, a menos que se realicen mediciones de aislamiento acústico.
- El aislamiento acústico depende también de las formas de unión y de la ejecución. En este sentido, pueden existir flancos dominantes que dificulten la mejora de los niveles de aislamiento obtenidos. Por otro lado, la inspección de los edificios puede revelar la existencia de instalaciones comunes pasantes entre recintos que minimizan el aislamiento acústico.
- Una vez prescritas las actuaciones orientadas a la mejora del aislamiento acústico, **precisar el aislamiento acústico final es complejo**, a menos que tengamos experiencia previa en este tipo de intervenciones. Es especialmente "arriesgado" si se tiene en cuenta que los índices en que están definidas las exigencias reglamentarias del DB HR son índices que indican aislamiento in situ: Diferencia de niveles estandarizada, $D_{nT,A,r}$ para ruido aéreo y nivel de presión de ruido de impactos estandarizado, $L'_{nT,w,r}$ para ruido de impactos.

En aquéllos casos, como los enumerados anteriormente en los que no sea posible determinar el aislamiento final in situ, para dejar constancia del nivel de prestación alcanzado, puede optarse por las siguientes opciones:

- Describirse los elementos sustituidos, modificados o incorporados.
- Especificar los índices de reducción acústica de los nuevos elementos constructivos ejecutados.
- Prescribirse la realización de mediciones in situ al final de la obra, de tal forma que sí se tenga constancia del aislamiento acústico final real alcanzado.

Sin embargo, las mediciones in situ no deben utilizarse como método de verificación del cumplimiento de las exigencias de aislamiento acústico cuando en los recintos se encuentren **elementos constructivos que no se han modificado en la intervención**, por los mismos argumentos expuestos en el párrafo anterior, entre otros:

- Incertidumbre a la hora de precisar los niveles finales alcanzados tras la intervención.

- Existencia de flancos dominantes en los que no se ha podido actuar, ya que la naturaleza de la intervención no contempla estas actuar en estos elementos.
- Existencia de instalaciones pasantes o que comuniquen recintos sobre los que no se ha podido actuar, ya que esta actuación excede del objetivo de la intervención...etc.

4 Criterios particulares de aplicación del DB HR a edificios existentes

Las intervenciones en edificios existentes comprenden una gran cantidad de actuaciones de mejora, que van desde las simples operaciones de mantenimiento en los edificios, hasta las rehabilitaciones integrales. En el CTE se definen tres niveles o tipos de intervenciones: Las obras de mejora, las ampliaciones y los cambios de uso. Según sea el tipo de intervención, así serán los requisitos que deben aplicarse.

A continuación se describen los casos particulares del DB HR y su aplicación a reformas, cambios de uso y ampliaciones:

- **Obras de reforma:** Dentro de las obras de reforma, debería diferenciarse entre las **obras de envergadura importante**, que son aquéllas en las que se modifican sustancialmente y de forma simultánea en los recintos particiones, forjados y envolvente y las **intervenciones parciales**, que son aquéllas en las que se interviene sólo en algún elemento constructivo o recinto del edificio.

En el primer caso, en el caso de las **obra de envergadura importante**, debe aplicarse los requisitos del DB HR, ya que son este tipo de actuaciones son asimilables a un proyecto de obra nueva donde se trata de encajar las nuevas soluciones en la arquitectura preexistente.

Si es técnicamente inviable o se trata de una actuación en un edificio de valor histórico o arquitectónico reconocido, se permite limitar la actuación al mayor nivel de adecuación compatible (criterio de flexibilidad).

En el caso de las **intervenciones parciales**, las exigencias del DB HR se aplican a los elementos constructivos o instalaciones sustituidos, modificados o incorporados. Sin embargo, en intervenciones parciales, puede aplicarse el criterio de flexibilidad si:

- Se trata de un edificio de valor histórico o arquitectónico de carácter reconocido, y la obra esto pudiera alterar de manera inaceptable su carácter o aspecto. Por ejemplo, si los acabados interiores de un recinto están protegidos, es inviable trasdosar las particiones o instalar un suelo flotante.
- Su aplicación no suponga la mejora efectiva de las condiciones de protección frente al ruido. En los párrafos siguientes se da una indicación de cuándo puede lograrse una mejora efectiva de los elementos constructivos al actuar sobre ellos.
- No sea técnica o económicamente viable.
- Implique cambios sustanciales en otros elementos que delimitan los recintos sobre los que no se fuera intervenir inicialmente. Véanse párrafos siguientes.

A continuación se da una orientación sobre algunos elementos constructivos cuya modificación y sustitución supone fácilmente la mejora efectiva de las condiciones y el cumplimiento de las exigencias de aislamiento acústico en este DB:

- Las ventanas o lucernarios: La sustitución de ventanas y lucernarios es a veces suficiente para el cumplimiento de las exigencias de fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior, a menos que la parte opaca sea muy ligera y que el edificio esté situado en una zona con unos niveles de ruido día elevados, $L_d \geq 70$ dB;

- Puertas de acceso a unidades de uso. Para mejorar el aislamiento acústico de recintos separados por puertas, la sustitución de la puerta es la medida más efectiva. El DB HR en su apartado 2.1 expresa los valores de índice de reducción acústica que deben cumplir las puertas entre recintos pertenecientes a unidades de uso diferentes.
- Tabiquería interior y medianerías. En estos casos el DB HR establece exigencias aplicables sólo a elementos constructivos:
 - La tabiquería interior de edificios de viviendas debe tener un índice de reducción acústica $R_A \geq 33$ dBA. Por ejemplo, cuando se redistribuya el espacio en una obra de reforma, la tabiquería debe cumplir con este valor.
 - En el caso de las medianerías, el DB HR establece dos exigencias en el apartado 2.1. Sin embargo, en la opción simplificada, el DB HR indica que un índice de reducción acústica de $R_A \geq 45$ dBA es suficiente para cumplir con las exigencias. Conseguir estos valores en una medianería es sencillo.

El caso de los elementos de separación verticales y horizontales es más complejo, ya el aislamiento acústico conseguido en los edificios depende no sólo de su composición, sino a los diferentes elementos constructivos (forjados, cubierta, fachadas, etc.) que forman el recinto y sus uniones, de forma tal, que una intervención parcial puede o no alcanzar los niveles de aislamiento acústico exigidos en el DB HR o una mejora efectiva de sus prestaciones acústicas. Es por ello que, siempre que esto sea compatible con la intervención, se perseguirá la mejora de los mismos (mayor nivel de adecuación a las exigencias), a pesar de que puedan o no satisfacerse las exigencias de aislamiento acústico establecidas en el DB HR.

En aquéllas intervenciones en la que se introduzca, sustituya o amplíe una instalación o equipo susceptibles de originar ruidos y vibraciones se deben seguir las especificaciones del apartado 2.3 del DB HR para proteger a los usuarios de posibles ruidos y vibraciones.

- **Obras de ampliación:**

Cuando se realice una ampliación a un edificio existente, las zonas ampliadas deben cumplir las exigencias establecidas en el DB HR, ya que la ampliación puede asimilarse una obra nueva, incluso los elementos constructivos que separan la parte ampliada de la parte existente, son considerados pertenecientes a la obra nueva y deben cumplir los requisitos del DB HR, a menos que sea técnicamente inviable o que se trate de un edificio de valor histórico o arquitectónico reconocido. En estos casos, se aplicará el criterio de flexibilidad.

Tal podría ser el caso de un edificio en el que se plantea construir varias plantas por encima. El último forjado existente es parte de la ampliación y debe por lo tanto cumplir las exigencias de aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos. Puede que sea necesario instalar un techo suspendido, pero si con ello la altura libre queda muy reducida, por debajo de los límites admisibles, podría ser posible aplicar el criterio de flexibilidad.

- **Cambios de uso:**

Los cambios de uso globales son asimilables a una obra nueva, por lo tanto, deben cumplirse las exigencias del DB HR.

En el caso de los cambios de uso parciales, el criterio es el de proteger los recintos más sensibles (dormitorios, estancias, aulas, viviendas, etc.) de otros recintos. Así se debe aplicar el DB HR cuando se

trate de un cambio de uso a vivienda o cuando fruto de la intervención se generen recintos de actividad o de instalaciones que sean colindantes a una unidad de uso¹.

Sin embargo, si se cambia de uso un local a vivienda, se permite utilizar el criterio de flexibilidad, es decir, limitar la intervención al mayor nivel de adecuación compatible, siempre que sólo pueda actuarse por un lado de la vivienda.

Si se genera un recinto ruidoso debe atenderse a lo que establezcan las ordenanzas y reglamentaciones específicas.

Si el cambio de uso se produce de una actividad a otra que genera niveles de ruido menores que los existentes, las condiciones de protección frente al ruido quedarán establecidas por la propiedad, promotor o proyectista en función de las particularidades de la actividad y de las características de su uso.

5 CONCLUSIONES

Los criterios tratan de delimitar de forma lógica la aplicación del CTE a los edificios existentes. A pesar de que pocas veces se lleva a cabo una intervención por motivos acústicos, toda obra de rehabilitación puede aprovecharse para mejorar las condiciones acústicas de los edificios.

Resumiendo, las exigencias de aislamiento acústico deben aplicarse estrictamente en los siguientes casos (Véase figura 2), ya que se trata de situaciones asimilables a una obra nueva:

- Intervenciones de envergadura importante.
- Ampliaciones.
- Cambios de uso globales.
- Cambios de uso a vivienda o cuando fruto de la intervención de cambio de uso se genere un recinto de instalaciones o de actividad colindante con alguna unidad de uso.

Sin embargo, existen algunos casos en los cuales se permite aplicar el criterio de flexibilidad, es decir, mejorar en la medida de lo posible aunque no se lleguen a cumplir las exigencias del DBHR, estos casos son:

- Intervenciones de envergadura importante en las que el cumplimiento de los requisitos del DB HR sea técnicamente inviable;
- Ampliaciones en las que el cumplimiento del DB HR sea técnicamente inviable;
- En aquellas intervenciones y ampliaciones de edificios protegidos por su valor histórico o arquitectónico, en las que las obras que permitieran el cumplimiento del DB HR alteraran de forma inaceptable su carácter o su aspecto;
- Cambio de uso a vivienda en el caso de que las características de la intervención no permita actuar más que por el interior de la vivienda generada (sin ser ésta colindante a ningún recinto ruidoso).

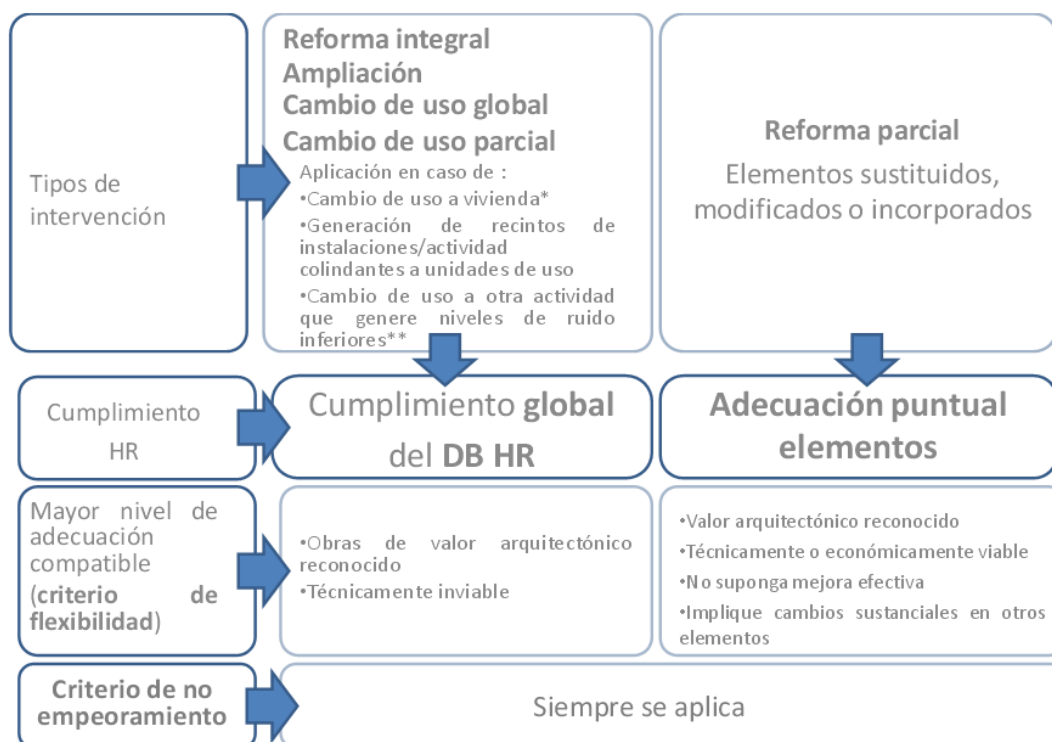
En el caso de las reformas parciales, el DB HR permite limitar la intervención al mayor nivel de adecuación o aplicar el criterio de flexibilidad, siempre que:

- Se trata de un edificio de valor histórico o arquitectónico de carácter reconocido
- Su aplicación no suponga la mejora efectiva de las condiciones de protección frente al ruido.

¹ Según el DB HR, una unidad de uso es un edificio o parte de un edificio que se destina a un uso específico, y cuyos usuarios están vinculados entre, sí bien por pertenecer a una misma unidad familiar, empresa, corporación, bien por formar parte de un grupo o colectivo que realiza la misma actividad. En cualquier caso, se consideran unidades de uso, las siguientes:

- a) en edificios de vivienda, cada una de las viviendas;
- b) en edificios de uso hospitalario, y residencial público, cada habitación incluidos sus anexos;
- c) en edificios docentes, cada aula o sala de conferencias incluyendo sus anexos.

- No sea técnica o económicamente viable.
- Implice cambios sustanciales en otros elementos que delimitan los recintos sobre los que no se fuera intervenir inicialmente.



*aplicable solo si se puede actuar en los dos lados de las particiones verticales u horizontales que separan la vivienda del resto de recintos del edificio.

Aplicable siempre si la nueva vivienda es colindante con un recinto ruidoso.

** las condiciones de protección frente al ruido quedarán establecidas por la propiedad, promotor o proyectista en función de las particularidades de la actividad

Figura 2. Esquema criterios de aplicación a edificios existentes

Herramientas de apoyo para la rehabilitación acústica de edificios

Belén Casla Herguedas

Ingeniero T. Agrícola. Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción. CSIC

Amelia Romero Fernández

Ingeniero de Telecomunicaciones. Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción. CSIC

Teresa Carrascal García

Arquitecto. Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción. CSIC

Palabras clave: acústica, rehabilitación, herramientas.

Resumen

En el panorama económico actual, a pesar de la escasez de obra nueva, son muy habituales las intervenciones en edificios existentes.

No es habitual realizar una obra de rehabilitación para conseguir mejoras de aislamiento acústico, sin embargo cada intervención en edificios existentes que se realice es una oportunidad para mejorar las prestaciones acústicas del mismo, aun no siendo el objetivo inicial de la intervención.

En esta comunicación se muestran las distintas herramientas de apoyo para la rehabilitación acústica de los edificios existentes con las cuales pueden llegar a obtenerse mejoras en las prestaciones acústicas dichos edificios.

Las herramientas descritas son la Guía de Aplicación del DB HR en edificios existentes, el Informe de Evaluación del Edificio, Condiciones Básicas de Protección frente al ruido, y la Herramienta de Cálculo del DB HR v3.0.

1 INTRODUCCIÓN

En el panorama económico actual, a pesar de la escasez de obra nueva, son muy habituales las intervenciones en edificios existentes.

No es habitual realizar una obra de rehabilitación para conseguir mejoras de aislamiento acústico, sin embargo cada intervención en edificios existentes que se realice es una oportunidad para mejorar las prestaciones acústicas del mismo, aun no siendo el objetivo inicial de la intervención.

La parte 1 del CTE, así como en el apartado IV de la introducción del Documento Básico HR, recogen unos principios que facilitan su interpretación y su aplicación en las intervenciones en edificación existente:

- No empeoramiento de las condiciones preexistentes excepto que se explicita esta posibilidad en el DB
- Proporcionalidad entre el alcance constructivo de la intervención y el nivel de prestación exigido
- Flexibilidad para aquellos casos en que la aplicación del CTE no sea urbanística, técnica o económicamente viable o en su caso incompatible con el grado de protección del edificio

Es posible obtener mejoras significativas actuando en los edificios existentes. Para obtener resultados satisfactorios, en todo proyecto de rehabilitación acústica deben tenerse en cuenta varios factores.

La planificación de los espacios es un factor importante, aunque no siempre es posible. La mejor manera de evitar molestias por ruido es agrupar los recintos ruidosos y ubicarlos alejados de los recintos sensibles. También es necesario tener en cuenta el grado de protección patrimonial del edificio ya que determinadas actuaciones pueden ocultar los acabados originales del edificio. Las disponibilidades de espacio del edificio ya que la mayoría de actuaciones que mejoran el aislamiento en los recintos conllevan una pequeña pérdida de superficie útil o de altura libre. El tipo de elementos constructivos existentes, como las uniones entre los mismos son otro factor importante a la hora de realizar una rehabilitación acústica. Por último, también es necesario tener en cuenta la interacción con otros requisitos y una ejecución correcta para obtener unos resultados satisfactorios.

Para dar apoyo al proyectista se está trabajando en el desarrollo de varias herramientas de apoyo para la rehabilitación acústica de edificios que se describen a continuación.

2 HERRAMIENTA DE APLICACIÓN DEL DB HR A EDIFICIOS EXISTENTES

La Guía de aplicación del Documento Básico de Protección frente al Ruido (DB HR) del Código Técnico de la Edificación (CTE) a edificios existentes muestra, desde un ámbito no reglamentario, como aplicar dicho documento a la edificación existente dentro de un marco flexible y racional.

Al intervenir en un edificio existente hay que tener en cuenta las características intrínsecas del edificio así como la normativa urbanística aplicable y a que limita de manera importante el grado de intervención. El objetivo principal es mejorar las condiciones iniciales del edificio antes de la actuación, llegando al máximo nivel de adecuación o mejora posible.

En la guía se desarrollan los principios de no empeoramiento, proporcionalidad y flexibilidad enumerados anteriormente. Así como la idea general de aprovechar cada intervención en edificios existentes para conseguir una mejora de las prestaciones acústicas.

INTERVENCIÓN EN EDIFICACIÓN EXISTENTE (E.E.) - HR	
N.E.	CRITERIO DE NO EMPEORAMIENTO
PROPORCIONALIDAD	<div> <div> Reforma parcial Elementos sustituidos, modificados o incorporados </div> <div> Ampliación Se reforme íntegramente el edificio Cambio de uso global Cambio de uso parcial Aplicación en caso de: <ul style="list-style-type: none"> Cambio de uso a vivienda* Generación de recintos de instalaciones/actividades colindantes a unidad de uso Cambio de uso a otra actividad que genere niveles de ruido inferiores** </div> </div>
	<div> <div>Adecuación puntual elementos</div> <div>Cumplimiento global DB-HR</div> </div>
FLEXIBILIDAD	CRITERIO DE FLEXIBILIDAD: Mayor grado de adecuación efectiva compatible
	<div> <ul style="list-style-type: none"> Valor histórico-arquitectónico reconocido Técnica o económicamente inviable No suponga mejora efectiva Implice cambios sustanciales en otros elementos </div> <div> <ul style="list-style-type: none"> Valor histórico-arquitectónico reconocido Técnica o económicamente inviable <p>* Aplicable solo si se puede actuar en los dos lados de las particiones verticales u horizontales que separan la vivienda del resto de recintos del edificio. Aplicable siempre si la nueva vivienda es colindante con un recinto ruidoso.</p> <p>** Las condiciones de protección frente al ruido quedarán establecidas por la propiedad, promotor o proyectista en función de las particularidades de la actividad</p> </div>
DOCUMENTACIÓN FINAL: indicar GRADO FINAL DE ADECUACIÓN	

La Guía de Aplicación del DB HR en edificios existentes se divide en varias partes que se explican a continuación.

2.1 Diagnóstico acústico en los edificios

Antes de cualquier intervención en edificios existentes es necesario llevar a cabo un adecuado diagnóstico del edificio realizando una búsqueda de documentación que permita conocer el estado presente y pasado del mismo, así como la inspección del edificio, realización de fotografías, catas, etc. y todos aquellos procedimientos que sirvan para documentar el estado del edificio y sus sistemas constructivos.

Para llegar a un diagnóstico correcto, es necesario conocer distintos aspectos del edificio tales como datos generales del edificio, elementos constructivos, etc.

Así mismo es importante realizar un diagnóstico acústico para conocer cuáles son los recintos más sensibles al ruido, la situación relativa entre estos y la identificación de las fuentes de ruido teniendo en cuenta sobre todo el ruido exterior, el ruido de instalaciones y el de actividad. Con ello se realiza una valoración previa del aislamiento acústico y una valoración de las circunstancias que pueden disminuir dicho aislamiento.

2.2 Proyecto de intervención acústica en los edificios existentes

Si bien es cierto que el objetivo final de una intervención en un edificio no suele ser la mejora de las condiciones acústicas, cualquier intervención puede aprovecharse para la mejora de las deficientes condiciones acústicas de los edificios. Por ejemplo, una de las intervenciones más comunes es la rehabilitación energética de la envolvente de los edificios. La sustitución de ventanas debe hacerse también teniendo en cuenta las exigencias de aislamiento acústico de los recintos. De esta manera puede conseguirse aunar dos requisitos: la eficiencia térmica y el confort acústico.

Al realizar un proyecto de rehabilitación es recomendable analizar cuando es de aplicación el DB HR teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

El DB HR debe cumplirse siempre que se trate de ampliaciones, reforma integral de un edificio, cambio de uso global y en el caso de cambio de uso parcial si se trata de un cambio de uso a vivienda o se generan recintos de instalaciones o actividad colindantes a unidades de uso.

En una reforma parcial el DB HR establece la posibilidad de realizar una adecuación puntual de elementos.

Por último existen casos en los que es conveniente mejorar las condiciones acústicas independientemente de lo que establezca el DB HR. tales como patologías que generen

1. **Casos en los que el DB HR establece la posibilidad realizar una adecuación puntual de elementos**, como en el caso de una reforma parcial.
2. **Casos en los que es conveniente mejorar las condiciones acústicas**. Independientemente de lo que establece el DB HR, deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:
 - a. Si el diagnóstico revela algún problema o patología, éstos pueden subsanarse en la intervención. Por ejemplo: equipos de instalaciones mal montados que ocasionan ruido en los recintos colindantes.
 - b. El proyectista o la propiedad pueden determinar las prestaciones de aislamiento acústico que deben tener cada una de las zonas de un edificio objeto de la rehabilitación en virtud de su uso específico, ya que hay determinados usos para los que el DB HR no establece unas exigencias, como por ejemplo es el caso de edificios de uso administrativo de un único propietario.

2.3 Intervenciones de mejora acústica en edificación

La guía desarrolla las intervenciones de mejora propuestas para conseguir unas prestaciones acústicas más favorables desde la actuación sobre los elementos constructivos.

2.3.1 Fachada y cubierta

Las intervenciones en la parte opaca de la fachada o de la cubierta no suponen un aumento significativo del aislamiento acústico (a excepción de fachadas o cubiertas ligeras).

Para lograr un aumento del aislamiento acústico frente a ruido exterior, es necesario actuar simultáneamente en los elemento de menor aislamiento acústico, es decir, en la ventana, la caja de persiana y los aireadores, si los hubiera.

Así, por lo general, pueden cumplirse las exigencias del DB HR actuando en los huecos de la fachada.

2.3.2 Elementos de separación verticales

En la guía se describen las actuaciones posibles para la mejora del aislamiento acústico en los elementos de separación verticales entre unidades de uso diferentes.

Las distintas actuaciones van desde la aplicación de capas de yeso o de mortero para aumentar la estanquidad de las soluciones existentes de fábrica a la inserción de materiales absorbentes en la cámara de las paredes dobles o la instalación de trasdosados por una o dos caras de las particiones, bien sean trasdosados directos o adheridos, autoportantes o cerámicos. Una última actuación propuesta es la sustitución de una partición anterior por un nuevo elemento constructivo de separación.

La mayoría de estas actuaciones conllevan una reducción de la superficie útil de los recintos en al menos 6 cm y hacen que sea necesario el replanteo de las instalaciones de calefacción o de las cajas para mecanismos

eléctricos, tales como enchufes e interruptores. Incluso en algunos casos pueden acarrear cambios en los acabados de los edificios, que pueden ser significativos si se trata de edificios protegidos.

Este tipo de mejoras en los elementos de separación verticales, pueden ser suficientes cuando los niveles de ruido generados son los propios de la actividad vecinal (conversaciones, radio y TV con niveles moderados, etc.). En el caso de que se requiera un nivel de aislamiento acústico mayor, debido a que los recintos colindantes sean de instalaciones o de actividad, se debe proceder a realizar una solución de más aislamiento acústico en la que la mejor opción es conseguir la desconexión estructural de los recintos ruidosos, actuándose de forma conjunta en los elementos de separación vertical, horizontal y tabiquería.

Otro aspecto muy importante para minimizar el impacto de las transmisiones indirectas es el diseño correcto de las uniones entre elementos constructivos.

2.3.3 Elementos de separación horizontales

Debido a que el problema de los forjados en la edificación española es que su aislamiento acústico a ruido de impactos suele ser deficiente, la Guía también trata las actuaciones sobre los forjados.

El mejor modo de mejorar es colocando sobre la superior del forjado un elemento elástico flexible (moqueta, tarima o suelo flotante, etc).

Si además del aislamiento acústico a ruido de impactos, se requiere mejorar el aislamiento acústico a ruido aéreo, se puede instalar un techo suspendido, con material absorbente en la cámara y anclajes metálicos.

2.3.4 Instalaciones

Las instalaciones son un conjunto amplio y heterogéneo de dispositivos que suelen generar ruidos y vibraciones que se trasladan a los recintos protegidos y habitables de los edificios.

La forma de abordar el diseño de las instalaciones en un edificio existente depende del tipo de intervención que se está efectuando. En la mayoría de los casos, las instalaciones se sustituyen por otras o se introducen instalaciones nuevas, por ejemplo, la instalación de un ascensor. En estos casos, deben tomarse aquellas medidas necesarias para que la nueva instalación no suponga trastornos a los usuarios por ruidos producidos.

3 INFORME DE EVALUACIÓN DEL EDIFICIO (IEE). CONDICIONES BÁSICAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL RUIDO

Dentro de la Guía de aplicación del DB HR a edificios existentes se ha introducido un anexo que reproduce la parte IV Condiciones Básicas de Protección frente al ruido del Informe de Evaluación del Edificio, destinado a realizar una evaluación preliminar de las condiciones acústicas de un edificio de uso residencial privado.

Este informe puede servir como ayuda durante el diagnóstico del edificio ya que la parte IV del IEE insiste en aquéllos características de los edificios que generan molestias desde el punto de vista acústico. Puede utilizarse en la valoración del aislamiento y en la prescripción de mejoras.

Al margen de lo indicado en el IEE, hay otros métodos de diagnóstico como por ejemplo, ensayos de aislamiento acústico, cuestionarios de confort acústico, etc. que proporcionan información más detallada de las prestaciones acústicas del edificio.

4 HERRAMIENTA DE CÁLCULO DEL DB HR

Para subsanar distintas limitaciones de la Herramienta de cálculo del DB HR v.2, se ha desarrollado una nueva versión de la herramienta informática del DB HR convirtiéndola en una aplicación multiplataforma que puede ser ejecutada en distintos sistemas operativos (MacOS, Windows y Linux).

Esta nueva versión, Herramienta de Cálculo del DB HR v3.0, además de los datos que han servido de base al Catálogo de Elementos Constructivos del Marzo de 2010, incluye otros elementos constructivos que pueden ser habituales en edificación existente.

Las novedades que presenta esta nueva versión de la Herramienta de cálculo del DB HR proporcionan una mejora en cuanto a la facilidad de uso.

La herramienta informática de cálculo del DB HR es aplicable a los proyectos de rehabilitación y edificación existente con ciertos matices en su uso para obtener garantías sobre el valor de aislamiento acústico final alcanzado.

A la hora de modelar el aislamiento acústico entre dos recintos, es importante tener en cuenta que éste depende tanto de los elementos constructivos como de su forma de unión, y deben estudiarse y considerarse detenidamente estas uniones, especialmente la fachada y la tabiquería, con el objetivo de evitar transmisiones por flancos dominantes.

Es necesario conocer las prestaciones de los elementos constructivos del edificio así como las uniones entre dichos elementos, para lo cual, el usuario podrá introducir nuevos elementos constructivos y las ecuaciones que modelen nuevas uniones en la base de datos.

El modelo de cálculo está validado para forjados homogéneos y no es aplicable a forjados de madera.

Hay que tener distintas consideraciones para el cálculo para obtener resultados óptimos en el uso de la Herramienta de cálculo. Para realizar el cálculo de aislamiento acústico entre dos recintos de un edificio existente es necesario conocer las características de los elementos constructivos e introducirlas en la entrada de datos del método de cálculo.

En cuanto a los elementos de separación horizontales (Forjados) cabe decir que están caracterizados considerándose como elemento base del elemento de separación horizontal, sin capas adicionales.

Sin embargo, en el caso de los forjados homogéneos existentes la casuística puede ser diversa, ya que pueden tener recrecidos y relleno de arena de diferentes espesores, diferentes acabados de pavimento como terrazo, gres u otros, etc.

Para estos casos se recomienda realizar una valoración previa del forjado, y de sus capas, estimando el peso del forjado y el de las capas de mortero, arena, solado, etc. que lleve instalados encima y que se vayan a quedar. Por el contrario, si se prevé la demolición de todas las capas de relleno, entonces el valor de entrada al método de cálculo es el de la masa del forjado únicamente.

Una vez estimada la masa del forjado, se seleccionará de la base de datos un forjado genérico de la masa correspondiente.

Una vez seleccionado el forjado correspondiente deberán considerarse sus características (la masa fundamentalmente) para seleccionar adecuadamente las mejoras de aislamiento que se vayan a aplicar sobre él (suelos flotantes y/o techos suspendidos), ya que sus prestaciones dependen de la masa del forjado sobre el que se aplican.

Por ejemplo, al elegir un forjado genérico de masa 350kg/m^2 si necesitamos instalar un suelo flotante, éste debe elegirse teniendo en cuenta este valor de masa del forjado:

Recinto 1

Tipo de recinto como emisor: Unidad de uso
Tipo de recinto como receptor: Protegido

Volumen V_1 (m³): 90

Elemento constructivo base	m' (kg/m ²)	$R_{f,A}$	$L_{n,w}$	S_i (m ²)	l_r (m)	Como Flanco	Revestimiento	$\Delta R_{D,A}$	$\Delta L_{n,w}$
Elemento F1 (Suelo): Forjado genérico de masa 350 kg/m ²	350	54	75	36	6	350	AC + M 50 + AR MW 12	6	27
Elemento F2 (Techo): Forjado genérico de masa 350 kg/m ²	350	54	75	36	6	350	YL 15 + AT MW 50 + C [100-150] (forjado de m ≤ 350 kg/m ²)	13	9

Código	Descriptor	Elemento base	ΔR_A	ΔR_{Atr}	$\Delta L_{n,w}$
S1.a.6	AC + M 50 + AR MW 12	forjado de 300 ≤ m ≤ 350 kg/m ²	6	4	27

En caso de que se necesite realizar los cálculos con algún elemento de separación vertical que no esté incluido en la base de datos de la aplicación se procederá como se indica a continuación:

- Caracterización del elemento
 - o Obtención de los valores de m , R_A y R_{Atr} del conjunto de la partición o del elemento base según corresponda a su tipología constructiva.
- Introducción del elemento constructivo y sus características mediante la edición de la base de datos de la aplicación;
- Selección de este nuevo elemento en el caso de cálculo;
- Selección del trasdosado correspondiente, si procede.

Una vez seleccionado el elemento base correspondiente para el elemento de separación vertical deberán considerarse sus características (la masa fundamentalmente) para seleccionar adecuadamente las mejoras de aislamiento que se vayan a aplicar sobre él (trasdosados), ya que sus prestaciones dependen de la masa del elemento base sobre el que se aplican.

Por ejemplo, supongamos que en el edificio existente que estamos calculando tenemos un elemento de separación vertical de una hoja que no existe en la base de datos y que se caracteriza por los siguientes valores:

$$m = 199 \text{ kg/m}^2 \quad R_A = 45 \text{ dBA} \quad R_{Atr} = 42 \text{ dBA}$$

Catálogo de elementos constructivos

Particiones

Mostrar leyendas

Añadir Particiones

Particiones

Código	Subtipo	Tipo de particiones	Descriptor	Conjunto			Elemento base		
				R_A	R_{Atr}	m	R_A	R_{Atr}	m

Inserción de elementos en la base de datos

Nuevos elementos constructivos

Nueva partición

Código identificativo: Subtipo:

Tipo de particiones:

Descriptor:

	Conjunto	Elemento base	Hoja menor
Masa de los distintos elementos que componen la partición [Kg/m²]	199	-	-
Índice global de reducción acústica, ponderado A, R_A [dBA]	45	-	-
Índice global de reducción acústica a ruido de automóviles, R_{Atr} [dBA]	42	-	-
Mejora del índice global de reducción acústica de la hoja menor de la partición, ponderada A, ΔR_A [dBA]	-	-	-
Mejora del índice global de reducción acústica a ruido de automóviles (ponderada A) ΔR_{Atr} [dBA]	-	-	-

Fuente:

Catálogo de elementos constructivos

Particiones

Código	Subtipo	Tipo de particiones	Descriptor	Conjunto			Elemento base		
				R_A	R_{Atr}	m	R_A	R_{Atr}	m
ESV-User-1	De una hoja	Fábrica	ESV fábrica 16cm	45	42	199	-	-	-

Elemento separador

Superficie S_a (m²):

Elemento constructivo base	m'_i (kg/m²)	$R_{i,A}$	Revestimiento recinto 1	$\Delta R_{D,A}$	Revestimiento recinto 2	$\Delta R_{d,A}$
ESV fábrica 16cm	199	45	YL 2x12,5 + MW 48 + SP (180 < m ≤ 200 kg/m²)	12	YL 2x12,5 + MW 48 + SP (180 < m ≤ 200 kg/m²)	12

Si fuera necesario realizar los cálculos con alguna fachada que no esté incluida en la base de datos de la aplicación deberá incluirse ésta en la base de datos de elementos de usuario. Para ello debe tenerse en cuenta que las fachadas se caracterizan en la aplicación en función de sus capas y según cada tipología de fachada:

- Valores que caracterizan el conjunto de la fachada (m , R_A y R_{Atr});
- Valores que caracterizan la hoja principal de la fachada (m , R_A y R_{Atr});
- Valores que caracterizan a la hoja interior de la fachada (m , R_A , R_{Atr} , ΔR_A y ΔR_{Atr})

Por ejemplo, si tenemos una fachada de una hoja de fábrica a rehabilitar y se instala una hoja interior deberá definirse un nuevo elemento fachada en la base de datos donde se especifique:

- Los valores que caracterizan el conjunto de la fachada y la hoja principal;
- Según las características de la nueva capa hoja interior:
 - o Si es una hoja de fábrica: Valores de m , R_A y R_{Atr} de esta hoja;
 - o Si es un trasdosado (por ejemplo de yeso laminado): Valores de ΔR_A y ΔR_{Atr} del trasdosado.

En caso de que se modifiquen los huecos en fachada deberán tenerse en cuenta las consideraciones siguientes:

- La ventana puede estar caracterizada en su conjunto incluyendo la caja de persiana y el aireador (R_w , C , C_{tr} , R_A y R_{Atr});
- En caso de que el aireador no estuviera integrado en el hueco, éste debe caracterizarse y tenerse en cuenta de manera independiente en el cálculo ($D_{n,e,Atr}$);

Sección de Fachada Directa

Superficie S_{a0} (m²)

Elemento constructivo base	m'_i (kg/m ²)	R_{Atr}	R_A	Forma de la fachada	α_{90}	h_m	ΔL_{f5}	Revestimiento interior	$\Delta R_{d,Atr}$
LP 115 + RM + AT + YL 15 (valores mínimos)	184	48	53	Plano de fachada	0	0	0	Sin Trasdosados	-

Ventanas/Capialzados	S (m ²)	R_{Atr}	R_A	ΔR	S_g (m ²)	$D_{n,el,Atr}$	
Ventana sencilla OSC/NP 12	1.2	32	34	0		31	(aireadores con tratamiento acústico)
Ventana sencilla OSC/NP 8	2.4	29	30	0		0	(aireadores sin tratamiento acústico)
Sin Ventanas	0	-	-	0		0	(techos suspendidos, conductos, pasillos...)
Sin Ventanas	0	-	-	0		0	

Transmisión aérea Directa I $D_{n,el,Atr}$

Transmisión aérea Directa II $D_{n,el,Atr}$

Transmisión aérea Indirecta $D_{n,el,Atr}$

L_d (dB) Tipo de ruido

$D_{2m,nT,Atr}$ Requisito CTE **CUMPLE**

Como ya se ha mencionado con anterioridad, es imprescindible conocer las uniones y su modelado para conseguir un correcto cálculo acústico.

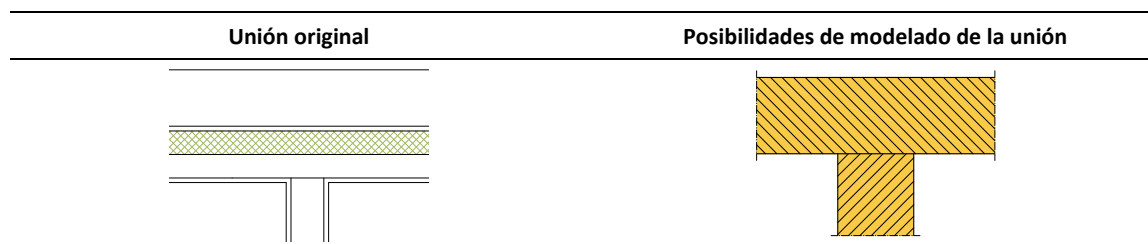
En la versión 3.0 se ha incorporado la posibilidad de introducir nuevas uniones en la base de datos interna. De esta manera, el usuario puede introducir uniones no estándar con formulaciones alternativas a las establecidas.

Del mismo modo pueden realizarse modelados de particiones y fachadas de doble hoja lo que proporciona mayor flexibilidad ante eventualidades. Es necesario conocer como son las uniones entre el elemento separador y los elementos de flanco, así como la posibilidad de que la actuación que se lleve a cabo modifique o no el tipo de unión.

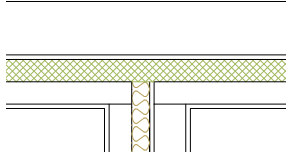

Es imprescindible definir las uniones, ya que el modelado y tratamiento de los elementos de flanco en el método de cálculo difiere según las uniones que existan.

Deben elegirse en la herramienta las uniones que mejor se adapten tanto a la situación inicial como a la actuación que se lleve a cabo.

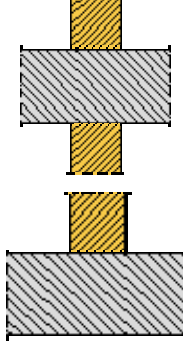
Un ejemplo es el caso que se daría al tener un elemento de separación vertical de una sola hoja acometiendo a una fachada de doble hoja de fábrica con la hoja interior pasante. La unión con la que se realiza el modelado es la que se muestra en la siguiente figura:



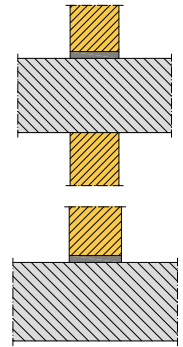
Si en la actuación de rehabilitación se duplicara la hoja del elemento de separación vertical y se realiza una doble hoja interrumpiendo el paso de la hoja interior de la fachada el modelado de la unión cambiaría siendo el que se muestra a continuación:

Unión modificada	Posibilidades de modelado de la unión
	

Otro ejemplo sobre uniones podemos verlo en un tabique que apoya directamente sobre el elemento de separación horizontal. Existen las siguientes uniones mostradas a continuación:

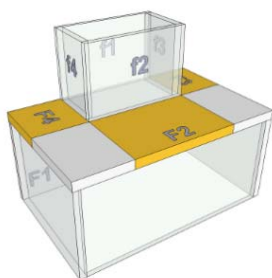
Unión modificada	Posibilidades de modelado de la unión
En + En T	

Si se derribara el tabique y se montara uno nuevo bien sobre una banda elástica, bien encima de un suelo flotante, la unión sería elástica cambiando las posibilidades de modelado de dicha unión como se muestra en la siguiente figura:

Unión modificada	Posibilidades de modelado de la unión
En + En T	

Otra mejora de la nueva versión de la Herramienta es que incluye la impresión directa de fichas justificativas y la generación de estas en formato pdf. Así mismo se ha incluido un manual de usuario también accesible en formato pdf.

Otras dos mejoras incluidas en la Herramienta de Cálculo del DB HR son la eliminación del método simplificado de cálculo del tiempo de reverberación y la absorción acústica y la inclusión de un nuevo caso de cálculo para los casos de garajes o recintos de actividad con una sola arista común.



5 CONCLUSIONES

A pesar de que la mayoría de las intervenciones en edificios existentes no están pensadas para mejorar las prestaciones acústicas de los mismos, cada una de ellas es una oportunidad para mejorarlas.

Esta mejora es posible y, para ello, se han desarrollado herramientas de apoyo para la rehabilitación acústica de edificios como son la Guía de Aplicación del DB HR a edificios existentes, el Informe de Evaluación del Edificio y la Herramienta de Cálculo del DB HR v3.0.

REFERENCIAS

Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo (BOE 28 de marzo de 2006). “Código Técnico de la Edificación”. Ministerio de Vivienda, 2006.

Documento Básico HR Protección frente al Ruido. Abril 2009

Herramienta de Cálculo del DB HR v3.0. Abril 2014

Futuro marco normativo en Europa en acústica de la edificación

María Machimbarrena Gutiérrez

Dpto. Física Aplicada

ETS Arquitectura

Av Salamanca s/n, 47014 Valladolid, Spain

Birgit Rasmussen

SBi, Danish Building Research Institute, Aalborg University (AAU-CPH),

Copenhagen, Denmark.

Patrizio Fausti

Engineering Department, University of Ferrara

Via Saragat 1, 44100 Ferrara (FE), Italy

Aislamiento acústico, normativa.

Resumen

La Unión Europea nace para propiciar la integración y gobernanza en común de los estados y los pueblos de Europa. Además de crear un marco legislativo que asegure la libre circulación de ciudadanos, bienes, y servicios, se ha creado una política común en muchos otros aspectos tales como el mercado, la agricultura, la pesca... El ruido ambiental ha sido también abordado por la normativa europea y es deseable que en algún momento se aborde el problema del ruido en las viviendas.

Es precisamente el problema del ruido en las viviendas lo que ha motivado que tanto desde la red COST TU0901 (<http://www.costtu0901.eu/>) como desde el Comité ISO TC43/SC2 (acústica en la edificación) se esté investigando acerca de procedimientos alternativos de medida y evaluación del aislamiento acústico in situ así como de estimación de la correspondiente incertidumbre (modificaciones a las actuales normas UNE EN ISO 140-4, 5 y 7; UNE EN ISO 717 y EN 20140-2 respectivamente). Se está trabajando así mismo sobre la posible creación de un sistema de clasificación acústica de viviendas que pudiera ser adoptada por todos los estados miembro. Todos los cambios normativos recientemente aprobados o en vías de desarrollo tendrán consecuencias sin duda positivas para el usuario de las viviendas, pero requerirán de un esfuerzo adicional por parte de todos los agentes implicados en el sector de la construcción, desde la fase de proyecto hasta la de ejecución.

1 INTRODUCCIÓN

La mayor parte de los países europeos tienen algún tipo de exigencia respecto al comportamiento acústico de los edificios, aunque estas exigencias varían mucho tanto en lo que respecta a los indicadores utilizados como a los límites establecidos. Actualmente once países Europeos cuentan con un sistema de clasificación acústica de edificios, pero ciertamente estos esquemas están lejos de ser parecidos. La gran variedad (indicadores, límites, tamaño de las clases, tipologías constructivas...) encontrada en los códigos de edificación y en los esquemas de clasificación acústica existentes, es un obstáculo para poder intercambiar experiencias, para el debido entendimiento de los legisladores de la UE, así como para el desarrollo y el comercio.

En 2008, el ISO TC43/SC2 se planteó la necesidad de revisar la normativa que regula la evaluación del aislamiento mediante valores globales ISO 717 partes 1 y 2 [1,2] y se asignó dicho cometido al grupo de trabajo WG18. La revisión pretendía abordar los siguientes fallos detectados en el sistema existente:

- La existencia de una gran variedad de descriptores de aislamiento posibles tal y como resume la autora Birgit Rasmussen en sus artículos [3,4]
- Los diferentes rangos de frecuencias utilizados en el mundo (ISO) para la evaluación del aislamiento en general (aéreo, impacto, fachadas)
- La percepción subjetiva de la molestia no parece estar debidamente recogida por lo que se plantea definir nuevos índices que se correlacionen mejor o representen mejor la percepción subjetiva de la molestia .

Con anterioridad se abordó la revisión de la normativa de medida de aislamiento acústico tanto en laboratorio como in situ (serie ISO 140). y se actualizaron todas las normas de medida en laboratorio, agrupándolas en una nueva serie ISO 10140 [5–9] publicada en 2010. Por lo que respecta a la normativa de medida in situ, se encuentra en proceso de revisión y actualización excepto la recientemente publicada norma ISO 16283 parte 1 [10], para medida de aislamiento a ruido aéreo in situ, que sustituye a la ISO 140-4 [11] utilizada hasta el momento. (En España en proceso de traducción cuando se escribe esta ponencia)

De forma paralela al trabajo desarrollado por ISO, en 2009 se crea un grupo de trabajo internacional, financiado por la Unión Europea, COST TU0901 “Integrating and Harmonizing Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions” cuyos objetivos van más allá de los anteriormente mencionados y que colabora activamente con el correspondiente WG18. [12]

Desde COST TU0901 se ha trabajado en realizar una propuesta armonizada de descriptores de aislamiento acústico y se ha elaborado una propuesta de esquema de clasificación acústica de edificios la cual ha sido asumida por ISO como borrador preliminar de trabajo de cara a la elaboración futura de una propuesta normalizada.

Por último cabe señalar que también se ha actualizado la normativa relativa a la incertidumbre de las medidas de aislamiento ISO 140-2 [13] (EN 20140-2), y se ha aprobado en 2014 la ISO 12999-1 [14] que la sustituye (también en proceso de traducción en España cuando se escribe esta ponencia).

2 RESUMEN SITUACIÓN EN EUROPA

Antes de abordar la realidad normativa actual y detallar las normas que están en proceso de cambio así como las posibles consecuencias, es conveniente tener una perspectiva general de lo que ocurre en el ámbito Europeo por lo que respecta a legislación relativa al aislamiento acústico en edificios.

Como se ha comentado, la red de trabajo COST TU0901 ha trabajado a lo largo de 4 años recopilando mucha de esta información, la cual se encuentra disponible en dos libros electrónicos de libre acceso [15,16]. En estos libros se puede encontrar información tanto de los descriptores de aislamiento habitualmente utilizado en 29

países de Europa, los valores límites admisibles, los esquemas de clasificación acústica si existen y las tipologías constructivas comúnmente empleadas y sus correspondientes prestaciones acústica y un análisis de errores típicos de diseño y/o ejecución que pueden originar el empeoramiento de las prestaciones acústicas del edificio.

Las figuras 1 y 2 ayudan a hacerse una idea del panorama tan dispar que existe en Europa en materia de aislamiento acústico y la conveniencia de proporcionar un marco normativo que facilite el entendimiento del sistema tanto para arquitectos, constructores, promotores y usuarios finales.

El problema no se limita a la gran variedad de indicadores existentes, sino al rango de frecuencias considerado en cada caso y por tanto a los sistemas de medida empleados.

ISO 717:2013 Descriptores para evaluación in situ del aislamiento acústico	Aislamiento a ruido aéreo entre recintos (ISO 717-1)	Aislamiento a ruido de fachadas (ISO 717-1)		Aislamiento a ruido de impacto entre recintos (ISO 717-2)
Descriptores básicos (valores numéricos únicos)	R'_{w} $D_{n,w}$ $D_{nT,w}$	R'_{w} $D_{n,w}$ $D_{nT,w}$		$L'_{n,w}$ $L'_{nT,w}$
Términos de adaptación espectral (enumerados según principales aplicaciones)	Sin corrección	Sin corrección		Sin corrección
	C $C_{50-3150}$ $C_{100-5000}$ $C_{50-5000}$	C $C_{50-3150}$ $C_{100-5000}$ $C_{50-5000}$	C_{tr} $C_{tr, 50-3150}$ $C_{tr, 100-5000}$ $C_{tr, 50-5000}$	C_I $C_{I, 50-2500}$
Número total de descriptores	3 x 5 = 15	3 x 9 = 27		2 x 3 = 6

Figura 1. Variedad de descriptores de aislamiento acústico existentes¹ [4]

Country	Class denotations ⁽¹⁾	CS Reference (latest version)	Link BC to CS	BC Reference to CS	Comment	Classes for new dwellings	Classes for "old" dwellings
DK	A / B / C / D	DS 490 (2007)	+	Class C		A, B, C	D
FI	A / B / C / D	SFS 5907 (2004)	-	N/A	BC = Class C	A, B, C	D
IS	A / B / C / D	IST 45 (2011)	+	Class C		A, B, C	D
NO	A / B / C / D	NS 8175 (2012)	+	Class C		A, B, C	D
SE	A / B / C / D	SS 25267 (2004)	+	Class C		A, B, C	D
LT	A / B / C / D / E	STR 2.01.07 (2003)	+	Class C		A, B, C	D, E
IT	I / II / III / IV	UNI 11367 (2010)	-	N/A	BC ~ Class III	I / II / III / IV	
DE ⁽²⁾	III / II / I	VDI 4100 (2012) ⁽³⁾	-	N/A		III, II, I	None
AT	A / B / C / D / E	ÖNORM B 8115-5 (2012)	-	N/A	BC = Class C	A, B, C	D, E
NL	I / II / III / IV / V	NEN 1070 (1999)	-	N/A	BC ~ Class III	I / II / III	IV, V
"TU0901"	A – F and npd	TU0901 Conf.Book (2013)	N/A	N/A	(4)	A / B / C / D / E / F and npd	

Abbreviations: BC = Building Code (regulatory requirements); CS = Classification scheme

(1) Classes are indicated in descending order, i.e. the best class first.

(2) Moreover, the German Society of Acoustics (DEGA) has published a recommendation [17] for acoustic labelling of dwellings. The system has seven classes A*-F and a colour code, the lower classes intended for old buildings.

(3) The revised version of VDI 4100 published in 2012 changed descriptors from R'_{w} and $L'_{n,w}$ to $D_{nT,w}$ and $L'_{nT,w}$, as had been discussed for years for the regulations. Also the class criteria were made stricter, and all classes are now above regulation (before the lowest class corresponded to regulations).

(4) Proposal prepared by TU0901, see Ch. 5. Considered to be submitted as WIs for international standardization.

Figura 2. Esquemas de Clasificación Acústica Existentes [3,15]

¹ $D_{nT,w} + C_{100-5000} = D_{nT,A}$ usado en DB HR

3 PROPUESTA DE REVISION DE LA ISO 717, PARTES 1 Y 2

En el seno del WG18, se encarga a un pequeño grupo de trabajo la redacción de un borrador para la nueva propuesta (en los sucesivos New Working Item Proposal - NWIP 16717 -) que sustituirá a la actual ISO 717. Los primeros artículos accesibles a expertos que no pertenezcan al WG18 aparecen en 2011 publicados en Acta Acustica [17,18]. En ellos se presentan las nuevas propuestas del NWIP 16717 y es precisamente a partir de ese momento cuando se inicia un debate más amplio a nivel internacional, pues la información trasciende al WG18 y pasa a ser del dominio público.

3.1 Resumen de la propuesta a fecha Mayo 2014

Los puntos más novedosos y por tanto más delicados del NWIP 16717 son los siguientes:

- La obligatoriedad (en fase de debate) de determinar los valores de aislamiento global incluyendo en los cálculos los valores de aislamiento medidos en las bandas de tercio de octava de 50 Hz, 63 Hz y 80 Hz tanto en ruido aéreo como en impacto. Este cambio viene impulsado por aquellos países (principalmente Suecia, Noruega, Austria, Bélgica y Alemania) en los que los ciudadanos se quejan sistemáticamente de percibir ruido de baja frecuencia en sus viviendas
- La eliminación del procedimiento de cálculo mediante comparación con una curva de referencia, manteniendo sólo el procedimiento de cálculo mediante una suma energética ponderada de acuerdo a un espectro de referencia.
- La determinación el aislamiento a ruido de impacto de forma análoga al aislamiento a ruido aéreo, y por tanto se incluye un espectro de referencia a ruido de impacto. Con esta propuesta, los índices de evaluación de aislamiento a ruido de impacto se asemejarían a los utilizados ya en otros países como Estados Unidos y Canadá por ejemplo

Se proponen dos espectros de referencia para el aislamiento a ruido aéreo uno relacionado con el ruido ambiental o “living” y otro con los ruidos con contenido importante en bajas frecuencias o “traffic= ruido de tráfico”, aunque los nombres no son definitivos y probablemente se adopten otros. Los espectros “living” y “traffic” se corresponden con los tradicionales “A” y “tráfico” con ligeras modificaciones para poder incluir frecuencias por debajo de los 100 Hz. Ver figura 1 y tabla 1.

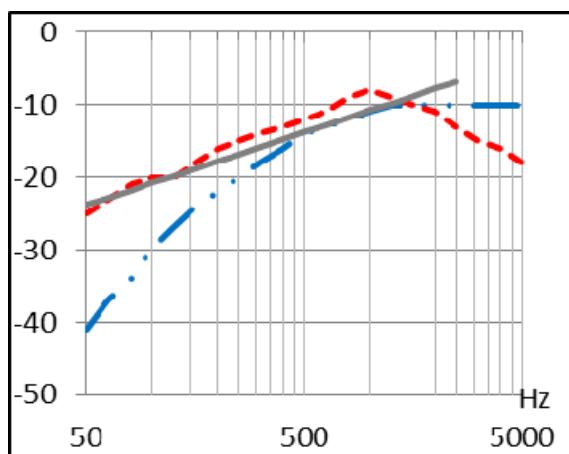


Figura 3. Espectros de referencia propuestos

Tabla 1. Espectros de referencia propuestos

Frec. (Hz)	Valores de espectros de referencia Li dB		
	Living	Traffic	Impact
50	-41	-25	-23,8
63	-37	-23	-22,8
80	-34	-21	-21,8
100	-30	-20	-20,8
125	-27	-20	-19,8
160	-24	-18	-18,8
200	-22	-16	-17,8
250	-20	-15	-16,8
315	-18	-14	-15,8
400	-16	-13	-14,8
500	-14	-12	-13,8
630	-13	-11	-12,8
800	-12	-9	-11,8
1000	-11	-8	-10,8
1250	-10	-9	-9,8
1600	-10	-10	-8,8
2000	-10	-11	-7,8
2500	-10	-13	-6,8
3150	-10	-15	
4000	-10	-16	
5000	-10	-18	

Los valores globales se calcularían según la ecuación:

$$R_{f, \text{global}} = 10 \cdot \left(\frac{\sum_i 10^{\frac{R_{f,i} - L_i}{10}}}{\sum_i 10^{\frac{R_{f,i} - L_i}{10}}} \right) \quad (1)$$

Donde el subíndice *fente* se refiere a los valores de los espectros de referencia descritos anteriormente, es decir *living*, *traffic* o *impact*.

R_i = Es el valor del aislamiento acústico (cualquiera de los parámetros existentes) medido o calculado en bandas de tercio de octava.

L_i = Es el nivel del espectro de referencia elegido en bandas de tercio de octava

$R_{f, \text{fuente}}$ = Es el valor único del parámetro de aislamiento correspondiente (en la ecuación, R)

Nota: esta propuesta es válida para cualquier parámetro: $D_{n,r}$, $D_{n,T,r}$, R , $D_{2m,n,T,r}$, $L_{n,r}$, $L_{n,T}$ y es análoga formalmente a las existentes en el DB HR para la determinación de D_{nTA} (*living*) y $D_{2m,nT Atr}$ (*traffic*) excepto por lo que respecta al rango de frecuencias utilizado.

4 NUEVO PROCEDIMIENTO PARA MEDIDA DE AISLAMIENTO A BAJAS FRECUENCIAS: SUSTITUCIÓN DE LA ISO 140-4 POR ISO 16283-1

Dado que los métodos de cálculo descritos en la futura ISO 16717 -1 y 2 incluirán los valores de bajas frecuencias (al menos con carácter opcional, aunque casi con total seguridad en un futuro no lejano será obligatorio), es preciso dotarse de procedimientos de medida adecuados. La serie ISO 16283 deberá dar respuesta a esta necesidad y de momento en su parte primera propone soluciones concretas para la medida del aislamiento a ruido aéreo.

Además de los métodos de muestreo del nivel presión sonora espacial ya utilizados (micrófonos fijos, barridos automatizados o barridos manuales) en la ISO 140-4, esta norma incluye nuevas propuestas de escaneo manual así como un procedimiento específico diferente para el muestreo del nivel de presión sonora a las frecuencias de 50, 63 y 80 Hz en aquellas situaciones en las que el volumen de la sala sea inferior a 25 m³.

La figura 4 muestra los cuatro tipos de trayectorias de escaneo manual adicionales propuestos en la norma ISO 16283-1: Trayectoria circular, helicoidal, cilíndrica y en tres semicírculos, ya estudiadas previamente por Hopkins [19–21]

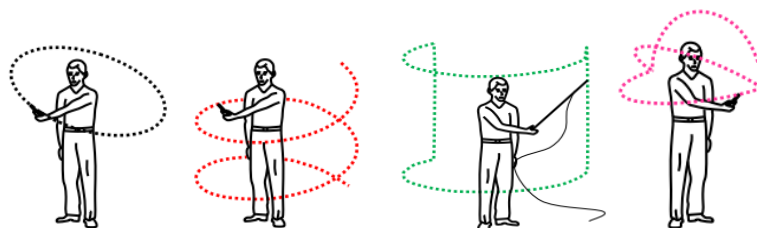
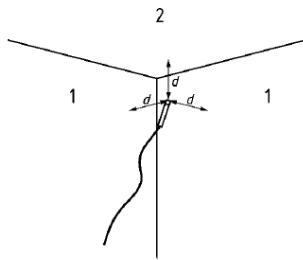


Figura 4: Diferentes tipos de trayectorias de escaneo manual de micrófonos [19]

El nivel de presión sonora promedio a bajas frecuencias se determina usando los datos obtenidos mediante alguno de los procedimientos propuestos junto con datos adicionales obtenidos mediante lo que se denomina “procedimiento específico de bajas frecuencias”.

Este procedimiento obliga a medir (en salas de $V < 25 \text{ m}^3$) en las esquinas de la sala (Fig. 5) y obtener lo que se denomina un nivel de presión en la esquina (L_{esquina}) para las banda de tercio de octava de 50, 63 y 80 Hz. El valor de L_{esquina} depende de si se usa un solo altavoz o varios simultáneamente.

El micrófono debe posicionarse en las esquinas a una distancia de entre 0,3 m y 0,4 m de cualquiera de las fronteras (paredes o techo) que conforman la esquina y al menos a un metro de la fuente sonora. La distancia a cada pared no tiene por qué ser la misma.



Cuando están funcionando varios altavoces simultáneamente se toma como nivel de presión acústica de la esquina el mayor de los valores medidos en cada una de los tercios de octava (50, 63, 80 Hz), independientemente de en qué esquina se ha medido.

Cuando funciona un único altavoz se determina el valor del nivel de presión acústica de cada banda de 50, 63 y 80 Hz, a partir de la ecuación:

Fig. 5: Procedimiento medida esquina [10]

$$L_{\text{esquina}} = 10 \cdot \log \left(\frac{p_{\text{esquina } 1}^2 + p_{\text{esquina } 2}^2 + \dots + p_{\text{esquina } q}^2}{q \cdot p_0^2} \right) \quad (2)$$

Por último, para calcular el valor del nivel de presión sonora a bajas frecuencias, se combina el nivel de esquina L_{esquina} con el valor obtenido en el tercio de octava correspondiente por el procedimiento elegido para el resto de tercios de octava (micrófonos fijos, barridos automatizados, barridos manuales...) L mediante la expresión:

$$L_{LF} = 10 \cdot \log \left[\frac{10^{\frac{L_{\text{esquina}}}{10}} + \left(2 \cdot 10^{\frac{L}{10}} \right)}{3} \right] \quad (3)$$

En todos los casos se especifican distancias mínimas, tiempos de medidas...

Así mismo, por lo que respecta a la medida del tiempo de reverberación, la norma propone utilizar el tiempo de reverberación de la octava de 63 Hz, para las tres bandas de tercio de octava inferiores (50, 63 y 80 Hz) dada la dificultad de medida en tercios de octava [19].

Con estas modificaciones, la nueva norma pretende soslayar las dificultades encontradas hasta el momento para medir adecuadamente el nivel de presión sonora y el Tr a bajas frecuencias cuando de medidas in situ se trata. Actualmente se está trabajando en la actualización de las partes 2 y 3 correspondientes a medidas de nivel de ruido de impacto y aislamiento de fachadas.

Por lo que respecta al ruido de impacto, la correspondiente norma ISO 16283-2 se encuentra en fase final de redacción y se espera su publicación en ISO próximamente. Incluye un procedimiento de medida específico para bajas frecuencias cuando $V < 25 \text{ m}^3$ análogo al descrito anteriormente para ruido aéreo (ISO 16283-1).

5 INCERTIDUMBRE DE LAS MEDIDAS DE AISLAMIENTO AL AMPLIAR EL RANGO DE FRECUENCIAS: SUSTITUCIÓN DE LA ISO 140-2 (EN 20140-2) POR LA ISO 12999-1

Tradicionalmente, en acústica de edificios, la incertidumbre asociada a las medidas de aislamiento acústico en bandas de tercio de octava y a los valores globales correspondientes se ha obtenido a partir de ensayos interlaboratorios efectuados según la ISO 5725 [22,23] y está asociada a un método de medida concreto. Tanto la ISO 140-2 (EN 20140-2) como la recientemente aprobada ISO 12999-1 se basan en una amplia base de datos de medida de aislamiento incluyendo bajas frecuencias, tanto en laboratorio como in situ, pero en ambos casos se nutren de ensayos cuasi exclusivos de una región de Europa (centro-norte), lo cual desde un punto de vista metrológico parece poco adecuado.

La realidad es que hasta la fecha no muchos países han recopilado datos de medida de aislamiento por debajo de los 100 Hz, y que los procedimientos de medida a bajas frecuencias in situ no estaban normalizados por lo cual los resultados en los que se basa la norma y que se presentan en la mayor parte de los estudios se corresponden con datos obtenidos en aquellos países donde o bien la medida hasta 50 Hz era preceptiva desde hace muchos años (como en algunos países escandinavos) o se realizaba la medida de forma rutinaria aunque no se utilizaran los valores en el cálculo. Lamentablemente no existen publicaciones con datos de medida por debajo de los 100 Hz en países con tipologías constructivas típicamente del sur de Europa o mediterráneos.

La norma ISO 12999-1 sólo difiere de la ISO 140-2 en la actualización de los valores de incertidumbre presentados en las tablas y la extensión del rango de frecuencia por debajo de los 100 Hz.

Por otra parte cabe señalar que se está trabajando en la parte 2 de esta serie, que proporcionará valores de incertidumbre para medidas de absorción en cámara reverberante de acuerdo a la norma ISO 354. Al igual que la parte uno se basa en una gran cantidad de datos de ensayos interlaboratorios.

En la actualidad muchos laboratorios de acústica acreditados miembros ILAC MRA (International Laboratory Accreditation Corporation - Mutual Recognition Arrangement) optan por desarrollar sus propios procedimientos de cálculo de incertidumbre más próximos a lo recomendado en el documento ILAC G17 [24] y por tanto de acuerdo a la ISO 17025 [25].

6 POSIBLES CONSECUENCIAS DE LOS DIVERSOS CAMBIOS PROPUESTOS

Todo cambio debe acarrear alguna consecuencia, pues precisamente para ello se provoca el cambio. El objetivo en última instancia es que, utilizando la tipología constructiva más adecuada en cada época o lugar, se consiga proteger debidamente al usuario frente al ruido en su vivienda. Sin embargo, el proceso de cambio puede ser más o menos “traumático” en función de cómo se aborde. Lo ideal sería que el cambio fuera lento, progresivo y dando posibilidad a cada Estado a adaptarse a las nuevas propuestas en un periodo de tiempo suficientemente largo como para poder ser asumido por todos los sectores como algo positivo y no como una amenaza.

6.1 Establecimiento de nuevos descriptores de aislamiento

El cambio formal de descriptores que parece imponerse no supone en sí mismo ningún cambio sustancial por lo que respecta al aislamiento a ruido aéreo y fachadas, pues los descriptores propuestos se calculan de forma idéntica a los propuestos por el DB HR, excepto por lo que respecta al rango de frecuencias o en el caso en que se incluyan modificaciones a la tabla 1 con el fin de mejorar la correlación entre el valor objetivo calculado y la molestia percibida por el usuario, lo cual está en fase de estudio.

Por lo que respecta a la forma de calcular el aislamiento a ruido de impacto (hoy nivel de ruido de impacto), el procedimiento cambiaría completamente, aunque dada la similitud con el aislamiento a ruido aéreo, el cambio sería fácilmente asumido por los sectores implicados. En todo caso el cambio en lo que a ruido de impacto respecta se encuentra actualmente en proceso de debate.

6.2 Ampliación del rango de frecuencias y modificación normativa de medida

Uno de los aspectos en los que es difícil el acuerdo es la obligatoriedad de incluir los tercios de octava por debajo de 100 Hz a la hora de realizar los cálculos de los valores únicos o descriptores, pues a pesar de mayoritariamente se acepta la necesidad de hacerlo para garantizar una mejor evaluación del aislamiento, no hay unanimidad en muchos otros aspectos. En España concretamente, esta propuesta es la que tendría más consecuencias en el medio y largo plazo.

Los sectores más críticos alegan los siguientes argumentos para no obligar a medir e incluir en los cálculos las bandas por debajo de 100 Hz:

- Hasta la fecha no existe procedimiento normativo que regule adecuadamente la de medida de aislamiento a ruido de impacto y fachada a bajas frecuencias y, a pesar de contar desde recientemente con procedimientos alternativos en lo que respecta al aislamiento a ruido aéreo (ISO 16283-1), tampoco se tiene experiencia acerca de la bondad del método propuesto.
- No parece tener sentido cronológico obligar a medir algo cuyo procedimiento de medida está en fase de redacción.
- En determinadas ocasiones este hecho puede enmascarar otros defectos a frecuencias medias y altas.
- No hay unanimidad sobre cómo afecta a la incertidumbre del valor global correspondiente (a pesar de la recientemente aprobada ISO 12999)

La realidad es que si se obliga a medir el aislamiento en las bandas de 50, 63 y 80 Hz tanto en laboratorio como in situ, ello obligará a actualizar tanto las bases de datos aislamiento acústico de elementos de construcción ensayados en laboratorio como las de soluciones constructivas típicas, pues mayoritariamente estos datos existen sólo a partir de 100 Hz. Lógicamente podría en un futuro afectar al mercado CE de productos de construcción con prestaciones acústicas, si se llegara a redactar una norma armonizada.

Por otra parte, los laboratorios, ingenierías, consultorías... tendrán que adaptar sus equipos (en caso de no estar preparados para excitar adecuadamente por debajo de 100 Hz), los técnicos adoptar los nuevos procedimientos de medida y los laboratorios acreditados, adaptarse a los nuevos procedimientos de medida conforme se vayan aprobando.

Dado que los problemas de aislamiento a bajas frecuencias son característicos de tipologías constructivas "ligeras", se tendrá que trabajar en mejorar sus diseños para poder hacer frente a las exigencias a bajas frecuencias, mientras que en general las tipologías pesadas se verán menos afectadas por la inclusión de las bajas frecuencias en el cálculo de los valores únicos. Es más, según una reciente publicación, al evaluar el nivel de ruido de impacto se apunta a la necesidad de medir incluso hasta 20 Hz en el caso de particiones ligeras [26].

Pero a pesar de las dificultades planteadas y a las muchas voces disonantes, todo apunta a que en un plazo no excesivamente largo será normativo realizar medidas por debajo de 100 Hz e incluir las mismas en los cálculos de aislamiento, tanto en laboratorio como in situ.

6.3 Propuesta de Esquema de Clasificación Acústica de edificios Europea

Hasta la fecha cada Estado miembro ha establecido el nivel de prestaciones exigible a sus edificios, y para ello ha elegido descriptores y límites adecuados a sus circunstancias sociales, constructivas, económicas. Como ya se ha indicado, algunos Estados cuentan con esquemas de clasificación acústica de edificios y otros no. Sin embargo hay estados en los que no existe ningún tipo de legislación al respecto y para los cuales puede ser muy conveniente desarrollar esa normativa dentro de un marco consensuado internacionalmente.

La idea de elaborar una propuesta de Clasificación Acústica de Edificios que pudiera ser utilizada en toda Europa (o incluso en el mundo) es una idea ambiciosa y tremendamente complicada dada la pluralidad de casos, culturas y percepciones distintas en lo que respecta al aislamiento acústico. Sin embargo desde ISO hay voluntad de trabajar en esa línea y es por ello que se ha aprobado la creación de un New Project ISO/NP 19488 “Acoustics - Acoustic classification scheme for dwellings”. Junto con la propuesta hay un compromiso de dotar al mercado y a la industria de un periodo de tiempo suficientemente largo para adoptar este estándar en caso de aprobarse. Cada Estado decidirá como hasta ahora cuál es el nivel de exigencia requerido y en consecuencia determinará cuál es la clase “mínima” permitida en ese Estado.

El primer paso necesariamente será que cada Estado ajuste su nivel de exigencia actual a los futuros descriptores armonizados que se establezcan, lo cual no se podrá hacer mientras no se aprueben las correspondientes normas ISO 16717 partes 1 y 2, y mientras no se disponga de datos fiables de valores de aislamiento a ruido aéreo, fachadas e impacto por debajo de 100 Hz.

REFERENCIAS

- [1] ISO 717-1:2013 Acoustics -- Rating of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 1: Airborne sound insulation. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2013.
- [2] ISO 717-2:2013 Acoustics -- Rating of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 2: Impact sound insulation. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2013.
- [3] Rasmussen B. Sound insulation between dwellings – Requirements in building regulations in Europe. Appl Acoust 2010;71:373–85.
- [4] Rasmussen B, Rindel JH. Sound insulation between dwellings – Descriptors applied in building regulations in Europe. Appl Acoust 2010;71:171–80.
- [5] ISO 10140-1:2010 Acoustics -- Laboratory measurement of sound insulation of building elements -- Part 1: Application rules for specific products. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2010.
- [6] ISO 10140-2:2010 Acoustics -- Laboratory measurement of sound insulation of building elements -- Part 2: Measurement of airborne sound insulation. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2010.
- [7] ISO 10140-3:2010 Acoustics -- Laboratory measurement of sound insulation of building elements -- Part 3: Measurement of impact sound insulation. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2010.
- [8] ISO 10140-4:2010 Acoustics -- Laboratory measurement of sound insulation of building elements -- Part 4: Measurement procedures and requirements. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2010.
- [9] ISO 10140-5:2010 Acoustics -- Laboratory measurement of sound insulation of building elements -- Part 5: Requirements for test facilities and equipment. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2010.
- [10] ISO 16283-1:2014 Acoustics -- Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 1: Airborne sound insulation 2014.

- [11] ISO 140-4:1998 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 1998.
- [12] COST Action TU0901: Integrating and Harmonizing Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions. <http://www.costtu0901.eu/> n.d.
- [13] ISO 140-2:1991 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 2: Determination, verification and application of precision data. International Organization for Standardization; 1991.
- [14] ISO 12999-1 Acoustics -- Determination and application of measurement uncertainties in building acoustics -- Part 1: Sound insulation. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2014.
- [15] Rasmussen B, Machimbarrena M, COST TU0901. Building acoustics throughout Europe. Volume 1: Towards a common framework in building acoustics throughout Europe. DiScript Preimpresion, S. L.; 2014.
- [16] Rasmussen B, Machimbarrena M, COST TU0901. Building acoustics throughout Europe Volume 2: Housing and construction types country by country. DiScript Preimpresion, S. L.; 2014.
- [17] Scholl W, Lang J, Wittstockh V. Rating of Sound Insulation at Present and in Future. The Revision of ISO 717. Acta Acust United with Acust 2011;97:686–98.
- [18] Scholl W. Revision of ISO 717: Why Not Use Impact Sound Reduction Indices Instead of Impact Sound Pressure Levels? Acta Acust United with Acust 2011.
- [19] Hopkins C, Turner P. Field measurement of airborne sound insulation between rooms with non-diffuse sound fields at low frequencies. Appl Acoust 2005;66:1339–82.
- [20] Hopkins C. The effectiveness of manual scanning measurements to determine the spatial average sound pressure level in rooms. Internoise, Lisbon: 2010.
- [21] Hopkins C. Spatial sampling of sound pressure in rooms using manual scanning paths. Euronoise, Edinburgh: 2009.
- [22] ISO 5725-1:1994 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results -- Part 1: General principles and definitions. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 1994.
- [23] ISO 5725-2:1994 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results -- Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 1994.
- [24] ILAC-G17:2002 Introducing the Concept of Uncertainty of Measurement in Testing in Association with the Application of the Standard ISO/IEC 17025. International Laboratory Accreditation Cooperation; 2002.
- [25] ISO 17025:2005 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. International Laboratory Accreditation Cooperation; 2005.
- [26] Ljunggren F, Simmons C, Hagberg K. Correlation between sound insulation and occupants' perception--Proposal of alternative single number rating of impact sound. Appl Acoust 2014.

Metodología de Ensayos de Aislamiento Acústico

Jose Alberto Trujillo Gallego

Director Técnico LABENAC.

Laboratorio de Ensayos Acústicos de la Fundación para el Fomento y la Innovación Industrial (FFII). Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

Palabras clave: Aislamiento, Legislación, DB HR

Resumen

Un ensayo de aislamiento, en términos generales, permite conocer la capacidad de un determinado sistema constructivo para impedir que el ruido generado en un local, penetre en otro local, normalmente colindante.

Si el fin de los ensayos es conocer las características acústicas de un sistema constructivo, se realizan los ensayos en cámaras especiales, con condiciones de instalación, ejecución y ambientales controladas, pudiendo así caracterizar adecuadamente dicho sistema.

Cuando el sistema constructivo se ejecuta en obra real, las condiciones “ideales” desaparecen, apareciendo nuevas variables que puede provocar grandes diferencias en el comportamiento acústico esperado para un paramento dado, debido a fallos de ejecución, transmisiones indirectas, etc.

La correcta ejecución de un ensayo de aislamiento “in situ” es necesaria para conocer el comportamiento real de los sistemas constructivos, integrado en una obra determinada, bajo unas condiciones de instalación y ejecución dadas, y en conjunto con el resto de elementos compartidos por los locales ensayados.

1 INTRODUCCIÓN

En Septiembre del 2009 se aprueba el denominado Documento Básico HR de Protección frente al ruido (en adelante DB HR) del Código Técnico de la Edificación.

Esta nueva legislación tiene como objetivo principal establecer las reglas y procedimientos para cumplir las exigencias básicas de protección frente al ruido en el interior de los edificios.

Uno de los principales cambios de la nueva legislación frente a la anterior, la Norma Básica de la Edificación, de 1988 (NBE-CA-88), aparte de un aumento de las exigencias y de la protección frente al ruido en el interior de las edificaciones, es el uso de parámetros de aislamiento medibles “in situ”.

La derogada NBE-CA-88 evaluaba la calidad de una edificación, basado en las características acústicas de los sistemas constructivos utilizados, y sus aislamientos bajo condiciones de ensayo “Ideales” (laboratorio). Por lo tanto, era suficiente utilizar sistemas “validados” o “aceptados”, en términos de aislamiento, en la construcción de las viviendas para cumplir los requisitos dados en la legislación.

La aprobación del actual DB HR supone un gran avance en la protección frente al ruido en el interior de las viviendas, pues las nuevas exigencias, aparte de obligar al uso de sistemas constructivos adecuados y suficientes para garantizar el confort acústico en el interior de las viviendas, exigen una adecuada ejecución de la obra. Por lo tanto, para garantizar el cumplimiento de la nueva legislación, no basta con utilizar un elemento separador adecuado y suficiente (en términos de aislamiento). Hay que garantizar, adicionalmente, una correcta ejecución en la construcción, y un adecuado diseño de todos los elementos que pueden alterar el aislamiento de un determinado paramento (rozas, agujeros para tomas de red, internet o televisión, huecos de bajantes, etc).

Actualmente, y para una edificación construida de acuerdo al Código Técnico de la Edificación, y ante la duda del cumplimiento de los requisitos marcados en dicha legislación, es posible la comprobación y evaluación del cumplimiento de los límites marcados por medio de los ensayos de aislamiento correspondientes.

En esta ponencia no se pretende dar una guía para la realización de los ensayos de aislamiento, puesto que dicha guía son las propias normas de referencia, si no que se tratará de plasmar los puntos críticos y requisitos indicados en las normativas de aislamiento actuales, como ayuda en la toma de decisiones “in situ” que son necesarias a la hora de la ejecución de los ensayos de cara a la realización de un ensayo de calidad, y repetible.

2 EL ENSAYO DE AISLAMIENTO. GENERALIDADES

Para caracterizar, en términos de aislamiento, una edificación, existen tres tipos de ensayo posibles, y complementarios:

- Aislamiento a ruido aéreo:
 - o Se mide entre dos locales dados, normalmente colindantes horizontal o verticalmente, y evalúa la cantidad de ruido que generado en el local emisor, llega al local receptor, por vía aérea. Permite evaluar tanto paramentos verticales (divisorias) como horizontales (forjados).
 - o La norma que marca los protocolos de ensayo de esta medida, así como los parámetros índices de aislamiento es la norma internacional UNE EN ISO 140 - 4:1999. “Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Medición “in situ” del aislamiento al ruido aéreo entre locales”.
- Aislamiento a ruido aéreo de fachada:
 - o Se mide entre el exterior y un local dado, evaluando la cantidad de ruido que generado en el exterior, llega al local receptor, por vía aérea. Permite evaluar el comportamiento de la fachada, o de partes de la fachada.

- La norma que marca los protocolos de ensayo de esta medida, así como los índices de aislamiento es la norma internacional UNE EN ISO 140 - 5:1999. "Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Medición "in situ" del aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de Fachada y fachadas".
- Aislamiento a ruido de impactos: Se mide entre dos locales dados, normalmente colindantes horizontal o verticalmente, evaluando la cantidad de ruido que, generado en el local emisor, llega al local receptor, por vía estructural. Aplicable únicamente a forjados.

La norma que marca los protocolos de ensayo de esta medida, así como los parámetros de resultados es la norma internacional UNE EN ISO 140 - 7:1999. "Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Medición "in situ" del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos".

Si bien las referencias anteriores marcan los protocolos de ensayo generales, existe una norma complementaria que marca criterios de actuación sobre casuísticas especiales, fundamental para llevar a cabo los ensayos de forma correcta, tanto en aislamiento a ruido aéreo, como de impactos.

- La norma mencionada es la UNE EN ISO 140 – 14:2005 "Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Directrices para situaciones especiales "in situ"", y su "erratum" UNE EN ISO 140-14:2005/AC:2009.

Como resultado de la aplicación de los protocolos de ensayo y el método de cálculo definido en las normas de ensayo mencionadas, se obtiene un espectro de aislamiento, con una precisión de tercio de octava, y unos rangos que van desde la banda de tercio de octava 100 Hz hasta la de 3150 Hz, ampliables por debajo hasta la banda de tercio de octava de 50 Hz, y por encima hasta la banda de tercio de octava de 5000 Hz.

Sin embargo, a la hora de valorar el cumplimiento de los niveles de aislamiento, de acuerdo a los requisitos marcados en las diferentes legislaciones de referencia, se hace necesaria la simplificación a un único valor de aislamiento, representativo del ensayo, denominado aislamiento global, y calculado a partir del espectro de aislamiento obtenido de los protocolos de ensayo y cálculo marcados en las normas UNE EN ISO 140, en sus partes 4, 5 y 7.

El método de cálculo para la obtención de los niveles globales de aislamiento viene especificado en las normas:

- UNE EN ISO 717- Parte 1:2013 "Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción, Aislamiento a ruido aéreo".
- UNE EN ISO 717 – Parte 2:2013 "Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción, Aislamiento a ruido de impactos"

Adicionalmente, el DBHR de protección frente al ruido, de Septiembre del 2009 especifica un método de cálculo para la obtención de un valor Global de aislamiento a ruido aéreo, con un resultado dado en dBA.

3 ENSAYO DE AISLAMIENTO A RUIDO AÉREO ENTRE LOCALES (UNE EN ISO 140-4:1999)

El valor del aislamiento a ruido aéreo entre locales se basa, a grandes rasgos, en la generación de un ruido en uno de los recintos que se quieren evaluar, llamado recinto emisor (L_1) y su medida tanto en el recinto emisor como en el recinto receptor (L_2).

El valor de aislamiento se calcula como una diferencia de niveles ($D=L_1-L_2$) entre el ruido medido en la sala emisora y el recibido en la receptora. Esa diferencia de niveles puede estar corregida por diferentes índices, ya sea el tiempo de reverberación, el área de absorción equivalente, etc, modificando el parámetro de evaluación, y el resultado. Sin embargo, el método de ensayo será siempre el mismo.

3.1 Criterios generales de selección recinto emisor/receptor

Previo al inicio de los ensayos es necesario conocer el escenario de medida, siendo la primera decisión a tomar la elección de los recintos emisor-receptor, de acuerdo a los criterios siguientes:

- En términos generales, recinto emisor el de mayor tamaño.
- Cuando uno de los dos recintos presenta geometría irregular, entonces ésta se escogerá como recinto emisor.
- Si es un elemento de separación vertical, por defecto se escogerá, como recinto emisor, el recinto inferior.
- Otros casos especiales quedan descritos en la UNE EN ISO 140-14:2005.

3.2 Generación del campo sonoro

La generación de ruido en el recinto emisor tiene como objetivo lo siguiente:

- Obtención de un sonido de carácter estacionario, estable en el tiempo.
- Con un espectro continuo (banda ancha), evitando diferencias de nivel de presión sonora superiores a 6 dB entre bandas adyacentes en todo el rango de frecuencias.
 - o Se permite el uso de difusores en el recinto para conseguir esta respuesta.
- Normalmente se utilizará ruido Blanco o ruido Rosa.
- Suficiente nivel de ruido que permita medir niveles de ruido en receptor superiores en más de 6 (y preferiblemente de 10) dB al ruido de fondo en el recinto receptor, en todo el rango de frecuencias de interés.
- Búsqueda de un campo difuso en el recinto emisor.

3.3 Fuente de ruido

Debe cumplir:

- Debe tener una radiación omnidireccional.
- Se recomienda el uso de fuentes poliédricas (normalmente un dodecaedro o semi-dodecaedro)
- La fuente debe ser verificada de forma periódica para asegurar el cumplimiento de los criterios de omnidireccionalidad exigidos en la norma.

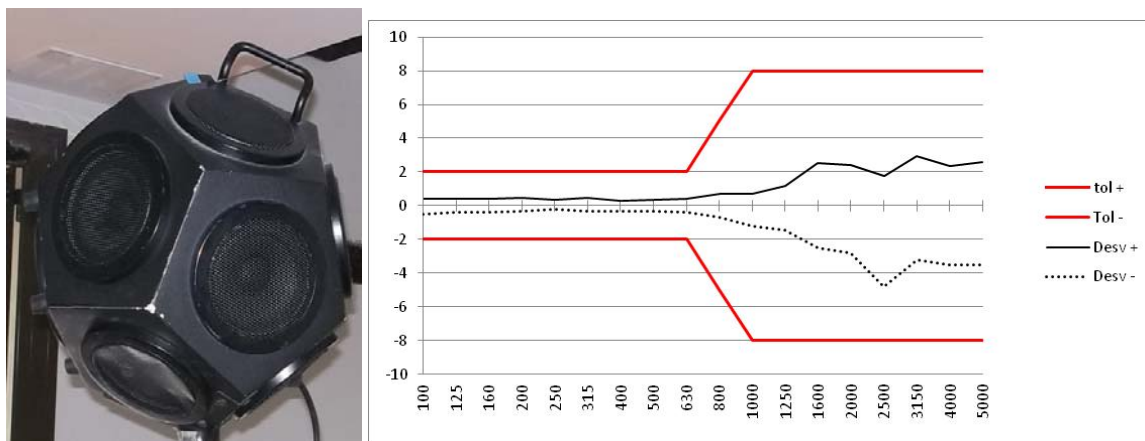


Figura 1. Izquierda: Ejemplo Dodecaedro. Derecha: Patrón de directividad de fuente de ruido.

El posicionamiento de la fuente debe ser tal que:

- Se utilizarán un mínimo de dos posiciones de fuente. El número mínimo de posiciones aumentaría a 3 en caso de ser necesarias mediciones con rango ampliado desde 50 Hz.
- Las distancias mínimas entre posiciones de fuente, al menos 0,7 m; y, al menos 2, a 1,4 m.
- Distancias entre fuente y límites del recinto superiores a 0,5 m.
- Evitar posiciones cerca del elemento separador a evaluar.
- Evitar posiciones paralelas a las paredes del recinto.

3.4 Posicionamiento de los puntos de medida (posiciones fijas)

En términos generales, se deberán situar los puntos de medida tal que:

- Un mínimo de 5 posiciones de micrófono por cada posición de fuente (y un mínimo de 10 mediciones en total). Muestreo ampliado si se mide desde 50 Hz.
- Mínimo de 0,7 m entre posiciones de micrófono.
- Mínimo de 0,5 m entre posición de micrófono y límites de local.
- Mínimo 1 m entre posición de micrófono y fuente de ruido.
 - o Se debe asegurar la medida del ruido en el área de predominio de campo reverberante (frente al campo directo).
 - o Si local emisor absorbente, será necesaria aumentar la separación entre las posiciones de medida y la fuente de ruido.
- Distribución de las posiciones de micrófono abarcando el mayor área posible del recinto cumpliendo las distancias mínimas y evitando posiciones paralelas a los planos que forman el local.

Tabla 1. Posiciones de micrófono y de fuentes de ruido en función de áreas de recinto emisor y receptor.

Dispositivo de medición	Área del suelo del recinto m ²	Número de posiciones de micrófono y de altavoces		
		Altavoces (solamente en el recinto de emisión)	Micrófonos fijos	Micrófonos rotatorios
A	<50	2	5 (10)	1 (2)
B	50 a 100	2	10 (10)	2 (2)
C	>100	3	15 (15)	3 (3)

NOTA – Los números entre paréntesis indican el número total de mediciones del nivel de presión acústica a realizar en el recinto

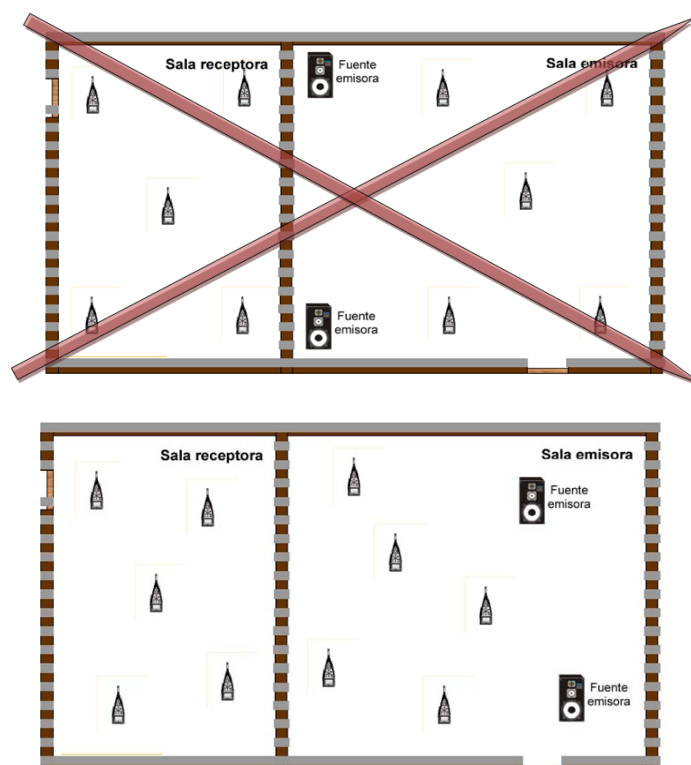


Figura 2. Ejemplo de posicionamiento de los puntos de medida. Incorrecto (arriba) y correcto (abajo).

- Para uso del rango ampliado desde 50 Hz las distancias entre micrófonos y bordes del recinto aumentarían a 1,2 m.

3.5 Medición de niveles de ruido en recinto emisor y receptor

Las mediciones que se deben realizar, cuando se utilizan posiciones de micrófono fijas, son:

- Nivel de presión sonora con la fuente de ruido funcionando en el recinto Emisor (L_1). Una medida para cada posición de micro y posición de fuente.
- Nivel de presión sonora con la fuente de ruido funcionando en el recinto Receptor (L_{SB}). Una medida para cada posición de micro y posición de fuente.
- Nivel de presión sonora de ruido de fondo en el recinto receptor (L_B).
- Tiempo de reverberación en el recinto receptor (ver apartado 3.6)

Para medidas realizadas con sonómetro integrador promediador, analizador de ruido en tiempo real, los tiempos de medida deberán ser:

- Un mínimo de 6 s. Recomendable un tiempo superior.
- Si se usa rango ampliado desde 50 Hz el tiempo mínimo de medida aumenta a 15 s.

3.6 Medición Tiempo de reverberación

La medida del Tiempo de reverberación se realizará, en términos generales, de acuerdo a los procedimientos y métodos indicados en la norma de referencia UNE EN ISO 3382, parte 2. "Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2. Tiempo de reverberación en recintos ordinarios.

El tiempo de reverberación se puede evaluar mediante los métodos siguientes:

- Método del ruido interrumpido:
 - o Generando ruido de banda ancha.
 - o Emisión de ruido blanco/rosa.
 - o Nivel suficiente en todo el ancho de banda.
 - o Tiempo de medida suficiente para incluir:
 - Estabilización de la fuente de ruido.
 - Emisión de ruido en fase estable.
 - Parada de la emisión de ruido y caída de señal.
 - Nivel de ruido de fondo.
- Método de respuesta impulsiva.
 - o Generando ruido impulsivo.

Los tiempos de reverberación se deberán calcular para caídas de 20 dB (T_{20}) o 30 dB (T_{30}), y, utilizando, preferiblemente la primera parte de la caída. Para una medida del T_{20} , se requiere una relación Señal/ruido de, al menos 35 dB, y de 45 dB para la medida del T_{30} .

El número mínimo de mediciones es de 6 caídas con, al menos, una posición de altavoz, y 3 posiciones de micrófono, con dos lecturas por posición.

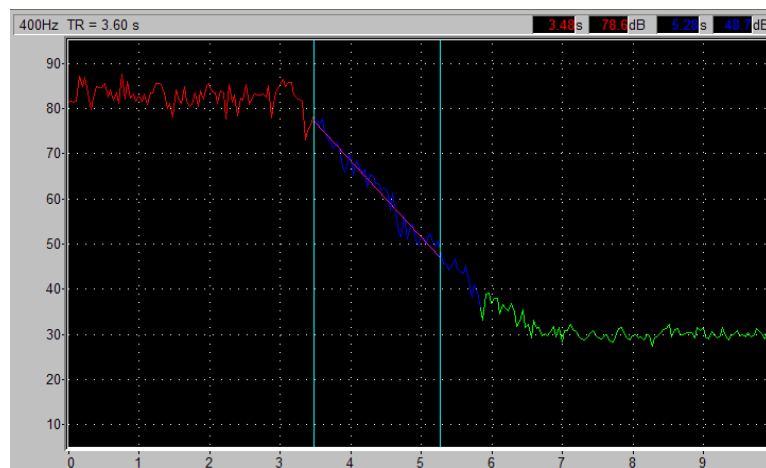


Figura 3. Ejemplo del cálculo de tiempo de reverberación (T_{30}).

4 ENSAYO DE AISLAMIENTO A RUIDO AÉREO DE FACHADA (UNE EN ISO 140-5:1999)

El valor del aislamiento a ruido aéreo de fachada se basa, a grandes rasgos, en la generación de un ruido en el exterior de la fachada (L_{is}), y la medida del ruido tanto en el exterior como en el recinto receptor (L_2).

El valor de aislamiento se calcula como una diferencia de niveles ($D=L_1-L_2$) entre el ruido medido en el exterior y el recibido en la sala receptora. Esa diferencia de niveles puede estar corregida por diferentes índices, ya sea el tiempo de reverberación, el área de absorción equivalente, etc., modificando el parámetro de evaluación, y el resultado. El método de ensayo, independientemente del parámetro utilizado, será siempre el mismo.

4.1 Criterios generales

La norma permite dos métodos de ensayo diferentes:

- Medición de Fachada completa: Evaluando el aislamiento de la fachada a nivel global.
- Medición de aislamiento de elementos de fachada: Para evaluar el aislamiento de elementos específicos que componen el total de la fachada.

Las condiciones de trabajo y protocolos de ensayo que se van a describir a continuación se basan en el ensayo de fachada completa (medición “in situ” más común).

Como fuente de ruido, la norma admite el uso de un sistema de reproducción sonora, o bien ruido de tráfico, ferroviario o aeroportuario.

Como método de ensayo más habitual se especificarán los criterios dados para la evaluación del aislamiento de la fachada con el uso de un sistema de reproducción sonora (método del altavoz).

4.2 Generación del campo sonoro

La generación de ruido en fachada, por el método del altavoz, debe cumplir lo siguiente:

- Obtención de un sonido de carácter estacionario, estable en el tiempo, y con un espectro continuo en frecuencia que asegure, en términos de potencia sonora, lo siguiente:
 - o La diferencia de los niveles de potencia de las bandas de tercio de octava que forman la banda de octava de 125 Hz sea inferior a 6 dB.
 - o La diferencia de los niveles de potencia de las bandas de tercio de octava que forman la banda de octava de 250 Hz sea inferior a 5 dB.
 - o En el resto, inferior a 4 dB.

- Como fuente de excitación se utilizará ruido Blanco o ruido Rosa.
- Diferencias locales en todos los puntos que forman la fachada, inferiores a 5 dB (10 dB para fachadas de más de 5 m para una de sus dimensiones), para todo el rango de frecuencia de interés, medido en condiciones de campo libre sobre una superficie virtual del mismo tamaño y orientación que la fachada a ensayar (ensayo de cobertura de fachada).
- Suficiente nivel de ruido que permita medir niveles de ruido en receptor superiores en más de 6 (y preferiblemente de 10) dB al ruido de fondo en el recinto receptor, en todo el rango de frecuencias de interés.

4.3 Fuente de ruido

Debe cumplir:

- Debe ser una fuente directiva.
- La fuente debe ser verificada de forma periódica para asegurar el cumplimiento de los criterios de directividad (cobertura de fachada), y respuesta en frecuencia.
- La cobertura de fachada de la fuente determina la cantidad de posiciones de fuente necesarias para evaluar el aislamiento de una determinada fachada.

El posicionamiento de la fuente debe ser tal que:

- Altavoz posicionado en el suelo. Alternativamente, tan alto como sea posible.
- La distancia mínima entre altavoz y centro de la fachada a evaluar será de 7 m.
- La distancia mínima entre altavoz y la normal de la fachada será de 5 m
- El ángulo de incidencia respecto de la normal de la fachada será de 45° (con una tolerancia de 5°).
- La fuente apuntando al centro de la fachada, y desplazada lateralmente (en función de la altura) para asegurar la incidencia de 45° de la Fachada.

Tabla 2. Posicionamiento de la fuente de ruido (en suelo), en función de la altura de la Fachada

Distancia a centro de fachada (m)	Altura centro de fachada (m)	Distancia lateral (m)	Distancia fuente-centro (m)
5	1,5	4,8	7,07
5	2	4,6	7,07
5	2,5	4,3	7,07
5	3	4,0	7,07
5	3,5	3,6	7,07
5	4	3,0	7,07
5	4,5	2,2	7,07
5	5	0,0	7,07

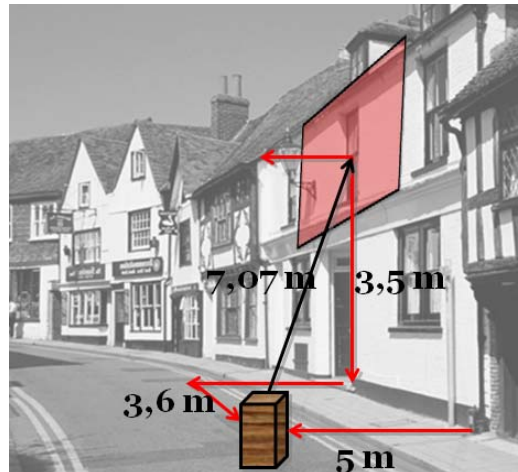


Figura 4. Ejemplo de posicionamiento de fuente sobre fachada.

4.4 Posicionamiento de los puntos de medida (posiciones fijas)

En exterior, para cada posición de fuente, y para un ensayo de fachada completa, se situará un punto de medida de acuerdo a:

- Posición situada a dos metros de la fachada.
- En el caso de existir un balcón o balaustrada, la posición de medida se situará a 1 m de ésta.
- En todos los casos, la posición se sitúa en la línea normal de la fachada, en el centro de la misma.
- El punto se sitúa a 1,5 m de altura sobre el suelo del local de recepción.
- La medición tanto en exterior como en interior, se realizará con los elementos de fachada cerrados.

El posicionamiento en interior de los puntos de medida, en el local receptor, mantiene los criterios de distancias indicados en el apartado 3.4.

4.5 Medición de niveles de ruido en recinto emisor y receptor

Las mediciones que se realizan en este ensayo son:

- Nivel de presión sonora con la fuente de ruido funcionando y micrófono en exterior de fachada (L_1). Una medida para cada posición de micro y posición de fuente.
- Nivel de presión sonora con la fuente de ruido funcionando en el recinto Receptor (L_{SB}). Una medida para cada posición de micro y posición de fuente.
- Nivel de presión sonora de ruido de fondo en el recinto receptor (L_B).
- Tiempo de reverberación en el recinto receptor (ver apartado 3.6)

El tiempo mínimo de medida, usando un analizador de ruido en tiempo real, será de 6 segundos.

4.6 Medición Tiempo de reverberación

- Realizado de acuerdo a lo indicado en apartado 3.6.

4.7 Medida de fachada grande o con varias fachadas

Cuando el tamaño de la fachada que se va a evaluar supera el tamaño máximo de cobertura de la fuente son necesarias varias posiciones de fuente y micrófono en el exterior para cubrir toda la fachada.

También requiere varias posiciones de fuente cuando se quiere evaluar una fachada en “L”

En estos casos, se realiza el ensayo completo para cada una de las posiciones de fuente (L_1 , L_{SB} , L_B , TR), y se calcula el parámetro de aislamiento correspondiente (Diferencia de niveles).

El valor de aislamiento total de la fachada, se calculará de acuerdo a la fórmula:

$$D_{t,am} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum 10^{-D_i/10} \right) \text{ dB}$$

5 ENSAYO DE AISLAMIENTO A RUIDO DE IMPACTOS (UNE EN ISO 140-7:1999)

El valor del aislamiento a ruido de impactos se basa en la generación de un ruido de impacto en el local emisor, y la medida del ruido de impactos transmitido en el local receptor.

En este caso, las mediciones únicamente se realizan en el local receptor, por lo que, no se habla de “Diferencia de niveles”, si no Nivel de ruido de impactos “L” (como un valor absoluto, no relativo).

5.1 Criterios generales

La norma es de aplicación para la caracterización acústica (en términos de aislamiento de impactos) de suelos. Las mediciones contemplan medidas de transmisión de ruido de impactos a través de los forjados entre recintos a misma altura (mediciones horizontales) y para recintos superpuestos (Mediciones verticales). En este último caso, el recinto emisor será siempre el recinto superior.

5.2 Generación del campo sonoro

Para la generación del campo sonoro debe usarse una máquina de impactos normalizada.

- Máquina formada por 5 martillos que golpean el forjado de forma secuencial, y con unas características físicas y mecánicas dadas.
 - o El objetivo es que todas las máquinas de impacto generen exactamente el mismo ruido.



Figura 5. Imagen de máquina de impactos normalizada.

Debe cumplir:

- Requisitos marcados en anexo A de la norma UNE EN ISO 140-7:1999.
- La fuente debe ser verificada de forma periódica para asegurar el cumplimiento de los criterios de funcionamiento, así como características físicas dadas.

El posicionamiento de la fuente debe ser tal que:

- Montaje de la máquina sobre una superficie plana y lisa, asegurando el correcto golpeo de los 5 martillos.

- Al menos 4 posiciones de fuente, distribuidas de forma aleatoria, abarcando la máxima superficie de suelo posible, cumpliendo:
 - o La distancia mínima entre la máquina y los límites del recinto, al menos 0,5 m.
 - o La orientación de la máquina con eje girado 45° respecto nervaduras o vigas.
 - o En suelos blandos especial cuidado. Asegurar caída de martillos desde 40 mm. Uso de calzos si fuese necesario.

La máquina de impactos es un sistema mecánico, activado por un motor eléctrico, por lo que los ensayos deberán realizarse dentro del modo estacionario de funcionamiento de la fuente (tiempo de calentamiento).

5.3 Posicionamiento de los puntos de medida (posiciones fijas)

Las mediciones de ruido se realizan en el local receptor, de acuerdo a:

- Un mínimo de 4 posiciones de micrófono, pero un mínimo de 6 mediciones combinando las posiciones de micrófono con las posiciones de la máquina de impactos. Las posiciones aumentarían en función de las áreas de los suelos de recinto emisor y receptor.
- Mínimo de 0,7 m entre posiciones de micrófono.
- Mínimo de 0,5 m entre posición de micrófono y límites de local.
- Mínimo 1 m entre posición de micrófono y suelo superior excitado por la máquina de impactos.
- Distribución de las posiciones de micrófono abarcando el mayor área posible del recinto cumpliendo las distancias mínimas y evitando posiciones paralelas a los planos que forman el local.

Tabla 3. Posiciones máquina de impactos vs micrófono función áreas del suelo en emisión y recepción.

Área del suelo del recinto de emisión m ²	Número de posiciones	Área del suelo del recinto de recepción, m ²			
		≤ 50		>50	
		Partición de tipo 1 ^a	Partición de tipo 2 ^b	Partición de tipo 1	Partición de tipo 2
<20	Máquina de martillos	4	4	4	4
	Micrófonos fijos	4	4	8	8
	Micrófono rotatorio	1	1	2	2
20 a 50	Máquina de martillos	8	4	8	4
	Micrófonos fijos	4	4	8	8
	Micrófono rotatorio	1	1	2	2
>50	Máquina de martillos	8	8	8	8
	Micrófonos fijos	4	4	8	8
	Micrófono rotatorio	1	1	2	2
^a Partición de tipo 1: Particiones de viguetas de madera, particiones de hormigón con nervios y vigas y particiones de hormigón sólido con un grosor inferior a 100 mm. Cualquier tipo de revestimiento del suelo.					
^b Partición de tipo 2: Particiones de hormigón sólido con un espesor igual o mayor a 100 mm, elementos de hormigón con áridos pesados gruesos y elementos de hormigón aligerado. Cualquier tipo de revestimiento del suelo.					

5.4 Medición de niveles de ruido en recinto receptor

Las mediciones que se realizan en este ensayo son:

- Nivel de presión sonora con la fuente de ruido funcionando. Mínimo 6 medidas combinando 4 posiciones de micrófono y 4 de fuente (L_{sb}).
- Nivel de presión sonora de ruido de fondo en el recinto receptor (L_B).
- Tiempo de reverberación en el recinto receptor (ver apartado 3.6)

El tiempo mínimo de medida, usando un analizador de ruido en tiempo real, será de 6 segundos.

5.5 Medición Tiempo de reverberación

- Realizado de acuerdo a lo indicado en apartado 3.6.

5.6 Evaluación de la contribución de la máquina al ruido aéreo

El ensayo de aislamiento a ruido de impactos pretende evaluar la cantidad de ruido debido a la máquina de impactos que llega al recinto receptor por vía estructural. Por ello, es importante conocer si existe influencia en los niveles de ruido recibidos en el local receptor por vía aérea (no estructural).

La norma, en su Parte 14 define un método para evaluar si hay contribución en el resultado de la transmisión del ruido de la máquina vía aérea. Para ello se requieren ensayos adicionales, de acuerdo a:

- Por medio de generación de ruido rosa en el recinto emisor, y la medida en ambos recintos con la fuente de ruido rosa emitiendo, se evaluará la diferencia de niveles ($L_{D,spk}$).
- Se medirá el nivel de ruido de impactos en la sala emisora ($L_{s,tm}$).
- Se medirá el nivel de presión acústica en recinto receptor con la máquina de impactos ($L_{R,tm}$).

Se considera que la influencia del ruido aéreo emitido por la máquina es despreciable cuando la diferencia del nivel de ruido de la máquina de impactos medido en emisión menos la Diferencia de niveles obtenidos de la emisión de ruido rosa ($L_{s,tm} - L_{D,spk}$) esté 10 o más dB por debajo del nivel de ruido recibido debido a la máquina de impactos ($L_{R,tm}$).

6 DESVIACIONES A LA NORMA

Los protocolos especificados en la norma de medición no siempre pueden ser cumplidos al 100 %, puesto que la casuística que se puede dar “in situ” es infinita. Cuando se da un escenario sobre el que no es posible cumplir dichos requisitos, es necesario tomar las decisiones necesarias para:

- Valorar si es viable el ensayo, y los resultados pueden dar una garantía de repetibilidad por un lado, y una adecuada caracterización del elemento separador a caracterizar por el otro.
- En caso considerar el escenario como aceptable, escoger qué desviaciones a la norma son asumibles sin comprometer el resultado final.
- Cualquier desviación a los protocolos de ensayo o de cálculo de la norma deben quedar reflejados y expuestos en los informes.

Algunas de las situaciones especiales que pueden darse de forma frecuente para los ensayos de aislamiento a ruido aéreo y de impactos, y los correspondientes criterios de actuación, quedan reflejados en la norma UNE EN ISO 14, en su parte 14.

A continuación se enumeran algunas de las situaciones más frecuentes que pueden darse en un ensayo real:

- No se cumplen las diferencias mínimas de 6 dBA entre L_{SB} y L_b en algunas bandas de frecuencia.
 - o Implica un límite de medida.
 - o Las bandas de frecuencia donde suceda, el resultado deberá ir precedido de un “ \geq ” en el caso de una diferencia de niveles (D), y de un “ \leq ” en el caso de un Nivel de ruido de impactos recibido.
 - o Si modifica el resultado del cálculo global, éste también deberá de ir precedido del “ \geq ” o “ \leq ” según el parámetro que se está evaluando.
- No es posible distribuir espacialmente las posiciones de micrófono cumpliendo los mínimos de distancia entre posiciones, o a fuente.
 - o Se podrán modificar las alturas de los puntos de medida para cumplir los criterios de distancias mínimas.
 - o Cuando no sea posible, deberá quedar reflejada la desviación en el informe.

- UNE EN ISO 140-4:2009:
 - No se cumplen los criterios de estabilidad espectral entre bandas adyacentes (diferencias entre bandas adyacentes inferiores a 6 dB).
 - La situación depende tanto del local emisor (forma, tamaño, materiales que lo forman, etc), como de la posición relativa entre fuente y micrófono dentro del local.
 - Normalmente suele darse en la zona de bajas frecuencias (100, 125, 160 Hz)
 - Los métodos para minimizar el problema son:
 - Uso de difusores (admitido por la norma).
 - Ecualización de la señal.
- UNE EN ISO 140-5:1999:
 - Fachada con elemento en esquina, o fachada en “L” con elementos a ambos lados de la “L”
 - Se deberá utilizar, al menos, una posición de fuente para cada lado de la “L”
 - El desplazamiento lateral de la fuente deberá ser tal que, cumpliendo los requisitos de distancias e incidencias marcados, se minimice la influencia en el resultado obtenido del lado de la fachada que no se está evaluando en ese momento. Para ello se escogerá la dirección de desplazamiento lateral opuesto a la esquina de la fachada.
 - Medición de fachada de pisos altos:
 - La problemática de estos ensayos radica en el aseguramiento de la incidencia a 45º sobre la fachada a evaluar.
 - Implica una separación grande de la fachada (superior a los 5 metros)
 - La separación de una fachada puede implicar acercar la fuente a otra superficie reflectante (fachada de otro edificio situado frente a la muestra)
 - Al aumentar la distancia, los niveles de ruido sobre la fachada son menores.
 - Puede quedar limitado el ensayo por ruido de fondo.
 - En algunos casos, recomendable el posicionamiento de la fuente en altura para evitar los puntos anteriores.
- UNE EN ISO 140-7:1999:
 - El ruido de la máquina no se percibe de forma homogénea en el recinto receptor, o no se percibe la caída de alguno de los martillos.
 - Se suele dar en suelos irregulares, donde los martillos no golpean el suelo de forma homogénea, al no caer desde la misma altura.
 - Se puede dar en suelos con baldosas, o bien porque algún martillo cae entre dos baldosas, o bien porque algunas baldosas no están correctamente fijadas, y se perciben huecas.
 - En ambos casos, la única solución es modificar la posición de la máquina hasta que estos efectos queden minimizados.
 - En algunos casos, puede pasar desapercibido. Sin embargo, debe ser detectable cuando se comparen con el resto de espectros obtenidos para otras posiciones de micrófono y de máquina.



Figura 6. Ejemplo de suelo irregular no adecuado para la medida de aislamiento a ruido de impactos.

7 REFERENCIAS

- DB HR – Documento Básico de protección frente al ruido de Septiembre 2009.
- NORMA UNE-EN ISO 140-4:1999. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
Parte 4: Medición “in situ” del aislamiento al ruido aéreo entre locales.
- NORMA UNE-EN ISO 140-5:1999. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
Parte 5: Mediciones in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachadas y de fachadas.
- NORMA UNE-EN ISO 140-7:1999. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
Parte 7: Medición “in situ” del aislamiento acústico de suelos al ruido de Impactos.
- NORMA UNE-EN ISO 140-14:2005. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
Parte 14: Directrices para situaciones especiales in situ.
- NORMA UNE-EN ISO 140-14:2005./AC:2009. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
Parte 14: Directrices para situaciones especiales in situ.
- NORMA UNE-EN ISO 717-1:2013. Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo.
- NORMA UNE-EN ISO 717-2:2013. Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos.

Criterios para la elaboración de planes de muestreo para certificación acústica en promociones de viviendas

Jose Alberto Trujillo Gallego

Director Técnico LABENAC.

Laboratorio de Ensayos Acústicos de la Fundación para el Fomento y la Innovación Industrial (FFII). Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

Palabras clave: Aislamiento, Legislación, Certificación acústica.

Resumen

La entrada en vigor del actual DB HR de protección frente al ruido, de Septiembre del 2009, del código Técnico de la edificación, supone un gran avance en la protección frente al ruido en el interior de las viviendas, pues las nuevas exigencias, aparte de obligar al uso de sistemas constructivos adecuados y suficientes para garantizar el confort acústico en el interior de las viviendas, exigen una adecuada ejecución de la obra.

Las administraciones autonómicas y locales tienen en la actualidad la posibilidad y la responsabilidad de exigir el cumplimiento de los criterios de protección acústica dados en el DBHR, mediante la realización de ensayos acústicos en la obra, antes de la legalización de las viviendas.

En esta ponencia se darán unas recomendaciones a la hora de escoger los ensayos acústicos a realizar dentro de una promoción de viviendas, de cara a una Certificación acústica.

1 INTRODUCCIÓN

Tras la aprobación del denominado Documento Básico HR de Protección frente al ruido (en adelante DB HR) del Código Técnico de la Edificación, en Septiembre del 2009 se abre una nueva dimensión en la protección del ciudadano frente al ruido, donde se da al ciudadano una herramienta de defensa jurídica y técnica ante las construcciones de baja calidad y con ejecuciones deficientes. Y a la administración, una herramienta para el control de la obra terminada, pudiendo exigir y comprobar que la construcción cumple los estándares de calidad necesarios, de acuerdo a lo indicado en la legislación mencionada.

Posterior a la venta, los propietarios pueden, mediante mediciones de aislamiento “in situ”, comprobar posibles deficiencias en la ejecución de la obra, así como verificar el cumplimiento de los criterios de protección mínimos marcados en la legislación para su vivienda.

Si bien el DBHR da las herramientas para el control de la calidad acústica de las viviendas construidas al amparo de dicha legislación, es responsabilidad de las administraciones autonómicas y locales el asegurar el cumplimiento de los criterios de protección marcados mediante las legislaciones autonómicas y locales.

A día de hoy, la medición completa de una promoción de viviendas para evaluar el cumplimiento de los requisitos de aislamientos mínimos estipulados en el DBHR es algo inviable, por costo y por tiempo. Por ello, las administraciones locales que exigen el cumplimiento del DBHR, suelen requerir no la evaluación completa de una promoción, si no la evaluación de un número representativo de muestras (viviendas o tipologías), mediante un muestreo del total de viviendas de la promoción. De esta forma, la administración asume que el cumplimiento de las muestras ensayadas (muestras representativas de las situaciones, a priori, más desfavorables) es suficiente para la legalización de la promoción.

2 LA CERTIFICACIÓN ACÚSTICA

Tal y como se ha indicado en el punto anterior, si bien el DBHR da las herramientas para poder evaluar el cumplimiento o incumplimiento, en términos de aislamiento a ruido, de una determinada construcción, es responsabilidad de las administraciones autonómicas y locales establecer los criterios de ensayo que permitan obtener dicha conformidad. En muchos casos se establecen, igualmente, los requisitos que deben cumplir las entidades físicas o jurídicas capacitadas para la realización de los informes de certificación acústica de una obra.

Los criterios dados para evaluar la conformidad acústica de una obra dependen de la legislación, pero suelen estar basados en el ensayo de un determinado número de muestras representativas, para cada tipo de ensayo (ensayo de aislamiento a ruido aéreo, aislamiento a ruido aéreo de Fachada, y aislamiento a ruido de impactos transmitido por el forjado). El número de ensayos a realizar suele estar definido en función de un porcentaje del total de viviendas o tipologías.

Como referencia, se adjuntan los criterios dados en algunas de las legislaciones actualmente en vigor, que contemplan y exigen la certificación de obra.

2.1 Ejemplo 1: Ley 5/2009, de 4 de Junio, del Ruido de Castilla y León

El objeto de la Ley es la prevención, reducción y vigilancia de la contaminación acústica, para evitar y reducir los daños y molestias que de ésta se pudieran derivar para la salud humana, los bienes o el medio ambiente, así como el establecimiento de los mecanismos para mejorar la calidad ambiental desde el punto de vista acústico.

En el punto 3 del artículo 12 “Determinación de los índices acústicos y evaluación acústica” se indica que “El aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos se determinará mediante el cálculo de la diferencia de niveles estandarizada A , $D_{nT,A}$ dBA...El aislamiento acústico a ruido aéreo de fachadas frente al ruido procedente del exterior, se determinará mediante el cálculo de la diferencia de niveles estandarizada, ponderada A , $D_{2m,nT,Atr}$

dB(A)...” Y en el punto 6 del citado artículo “El aislamiento acústico a ruido de impacto se determinará mediante el cálculo del nivel de presión de ruido de impactos estandarizado, L'_{nT} (dB)”

En el punto 2 del artículo 14 se indica que “Los aislamientos acústicos exigidos en los edificios...serán los exigidos en el apartado 2.1. del Documento Básico HR de protección frente al ruido, del Real decreto 1371/2007, de 19 de Octubre, por el que se aprueba el documento básico “DB HR Protección frente al ruido” del Código Técnico de la Edificación ”

En su artículo 29, “Comprobaciones acústicas” indica que “Junto con la documentación que deba presentarse a efectos de obtener la licencia de primera ocupación de un edificio, el promotor deberá presentar un informe de ensayo, realizado por una Entidad de Evaluación Acústica¹, donde se justifiquen los siguientes extremos

- a) Que se cumplan “in situ” con los aislamientos acústicos exigidos en el artículo 14.2....”

Así, en el punto 2 se indican los siguientes criterios de muestreo, en relación a los ensayos de aislamiento:

- Aislamiento acústico a ruido aéreo entre viviendas: Un 20% de las viviendas de la promoción y, como mínimo, un ensayo.
- Aislamiento acústico a ruido aéreo de fachada: Un 10% de las viviendas de la promoción y, como mínimo, un ensayo.
- Aislamiento a ruido de impactos: Un 10% de las viviendas de la promoción y, como mínimo, un ensayo.
- Aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos habitables de viviendas y recintos de instalaciones: El total de casos existentes.
- Aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos habitables de viviendas y recintos que puedan albergar actividades: El total de casos existentes.
- La comprobación de los niveles sonoros de bajantes sanitarias y resto de instalaciones sanitarias en las viviendas más afectadas, en los casos más desfavorables.
- La comprobación de los niveles sonoros de recintos de instalaciones se llevará a cabo en todos los casos existentes.

Asimismo, se indica en el punto 9 la siguiente salvaguarda:

- “El cumplimiento de los casos muestreados no exime del cumplimiento de los casos no muestreados”.

2.2 Ejemplo 2: Ordenanza Municipal de Protección contra la contaminación acústica de Valencia, del 2008.

El objeto de la ley es prevenir, vigilar y corregir la contaminación acústica en sus manifestaciones más representativas, en el ámbito territorial del municipio de Valencia, para proteger la salud de sus ciudadanos y mejorar la calidad del medioambiente.

En el título VI de la Ordenanza se exponen las normas relativas a aislamiento acústico y contra las vibraciones en la edificación. En dicho título, entre otras cosas, en su artículo 28, se mencionan las precauciones que se deben tomar para asegurar que el ruido y las vibraciones producidos por las instalaciones superen los límites admisibles. Y, en su artículo 29 hace referencia a los “Certificados de aislamiento acústico”, donde se indica que “Para la obtención de la licencia de primera utilización de los edificios, o bien para posteriores licencias de ocupación, siempre y cuando sean consecuencia de obras que requieran proyecto técnico de edificación, además de los certificados que determina la normativa vigente, se exigirán, al menos, los certificados realizados a partir de mediciones experimentales in situ en condiciones normalizadas, acreditativos del aislamiento acústico de los elementos que constituyen los cerramientos verticales de fachadas y medianeras, los cerramientos de cubiertas, los cerramientos horizontales incluidos los forjados que separen viviendas de

¹ Los requisitos que debe cumplir la entidad de evaluación acústica quedan definidos en la propia legislación.

otros usos, y los elementos de separación con salas que contengan fuentes de ruido o vibración (Cajas de ascensores, calderas y cualquier otra máquina)".

En este caso, los criterios de muestreo son de ensayar sobre cada elemento constructivo diferente que compone el edificio un 10% o la raíz cuadrada del número de viviendas que integran el edificio, la cifra mayor de ambas opciones.

Los ensayos deberán estar realizados por "Laboratorios acreditados de acuerdo al RD1371/2007..." Además, deberá estar firmado por "Técnico competente" y visado por el colegio profesional correspondiente.

En el anexo II se indican los límites, así como los parámetros de mediciones "in situ" que deben ser utilizadas, siendo la referencia el DB HR de Protección frente al ruido, de Septiembre del 2009

3 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MUESTRAS

3.1 Conocimiento del documento normativo

El paso previo ante una certificación acústica es el análisis del documento normativo de referencia. En dicho documento se deberá buscar:

- Criterios de muestreos para los distintos tipos de ensayo, que serán función, normalmente, del número de viviendas de la promoción (ver ejemplos de los apartados 2.1 y 2.2.).
- Criterios de protección, y tipologías de recintos, así como el uso del edificio (residencial, sanitario, etc). La legislación de referencia podrá disponer de sus propios criterios, con los aislamientos mínimos, en función de la tipología de los locales, actividades, instalaciones, etc. Dichos criterios siempre serán iguales o superiores a los marcados en el Documento Básico HR de Protección Frente al ruido de Septiembre 2009.
- Normalmente, las legislaciones locales a la hora de especificar el parámetro de medida, así como los límites de aplicación suelen hacer referencia a la legislación nacional, o asumir sus criterios.

Por lo tanto, es fundamental el conocimiento de la legislación en referencia a:

- Usos del edificio.
- Tipologías de recintos.
- Grados de protección en función de las tipologías de los locales colindantes y los usos marcados.
- Grados de protección de las fachadas, en función de la tipología del local que contiene la fachada, así como ruido ambiental exterior.
- Grados de protección en referencia a locales de actividades o instalaciones.

El Documento Básico HR de Protección Frente al ruido de Septiembre 2009 define las siguientes tipologías de locales:

- Recinto: Espacio del edificio limitado por cerramientos, particiones o cualquier otro elemento de separación.
- Recinto de actividad: Aquellos recintos, en los edificios de uso residencial (público o privado), hospitalario o administrativo, en los que se realiza una actividad distinta a la realizada en el resto de los recintos del edificio en que se encuentra integrado, siempre que el nivel medio de presión sonora estandarizado, ponderado A, del recinto sea mayor que 70 dBA. Por ejemplo, actividad comercial, de pública concurrencia, etc. A partir de 80 dBA se considera recinto ruidoso. Todos los aparcamientos se consideran recintos de actividad respecto cualquier uso salvo los de uso privativo en vivienda unifamiliar.
- Recinto de instalaciones: Recinto que contiene equipos de instalaciones colectivas del edificio, entendiendo como tales, todo equipamiento o instalación susceptible de alterar las condiciones ambientales de dicho recinto. A efectos de este DB, el recinto del ascensor no se considera un recinto de instalaciones a menos que la maquinaria esté dentro del mismo.

- **Recinto habitable:** Recinto interior destinado al uso de personas cuya densidad de ocupación y tiempo de estancia exigen unas condiciones acústicas, térmicas y de salubridad adecuadas. Se consideran recintos habitables los siguientes:
 - o Habitaciones y estancias (Dormitorios, comedores, bibliotecas, salones, etc.) en edificios residenciales.
 - o Aulas, salas de conferencias, bibliotecas, despachos, en edificios de uso docente;
 - o Quirófanos, habitaciones, salas de espera, en edificios de uso sanitario u hospitalario;
 - o Oficinas, despachos, salas de reunión, en edificios de uso administrativo;
 - o Cocinas, baños, aseos, pasillos, distribuidores y escaleras, en edificios de cualquier uso;
 - o Cualquier otro con un uso asimilable a los anteriores.
 - o En el caso de un uso combinado de un recinto, si uno de los usos es protegido, de cada al Db se considera protegido.
- **Recinto no habitable:** aquel no destinado al uso permanente de personas o cuya ocupación, por ser ocasional o excepcional y por ser bajo su tiempo de estancia, solo exige unas condiciones de salubridad adecuadas (trasteros, desvanes, etc.).
- **Recinto protegido:** Recinto habitable con mejores características acústicas. Se consideran recintos protegidos los recintos habitables de los puntos primero, segundo, tercero y cuarto del listado dado.
- **Estancias:** Recintos protegidos tales como: salones, comedores, bibliotecas...etc. en edificios de uso residencial y despachos, salas de reuniones, salas de lectura...etc. en edificios de otros usos.

Una vez definidas las tipologías de recintos, el DB HR de protección frente al ruido marca los límites estipulados para los distintos tipos de paramentos, en función del tipo de ensayo (aislamiento a ruido aéreo, fachadas o impactos), y tipologías de recintos, de acuerdo a las tablas siguientes:

Tabla 1. Valores límite de aislamiento a ruido aéreo entre locales.

AISLAMIENTO A RUIDO AÉREO ENTRE LOCALES		
RECINTO EMISOR	Recinto receptor de una unidad de uso diferente	
	Protegido	Habitable
	Ruido aéreo D_{nTA} (dBA)	Ruido aéreo D_{nTA} (dBA)
Protegido	50	50
Habitable		45
Zona común (sin puertas entre ambos recintos) ¹		
De instalaciones o Actividad	55	
¹ En edificios de uso residencial, cuando existan puertas entre recintos protegidos y zonas comunes, el índice de reducción sonora ponderado A de la puerta no será menor de 30 dBA, y de 20 dBA en el caso de recintos habitables		
MEDIANERAS		
En contacto con otro edificio, D_{nTA} (dBA)	50	
En contacto con aire exterior, $D_{2m,nTATR}$ (dBA)	40	
TABIQUERÍA EN RECINTOS DE MISMA UNIDAD DE USO		
	Índice de reducción acústica R_A (dBA)	
Protegido	33	
Habitable		

Tabla 2. Valores límite de aislamiento a ruido de impactos.

AISLAMIENTO A RUIDO DE IMPACTOS		
RECINTO EMISOR	Recinto receptor de una unidad de uso diferente	
	Protegido	Habitable
	Impactos L'_{nT} (dB)	Impactos L'_{nT} (dB)
Protegido	65	65 ¹
Habitable		--
Zona común		
De instalaciones o Actividad	60	

¹ La exigencia no es de aplicación para recintos protegidos colindantes horizontalmente con una escalera.

Tabla 3. Valores límite de aislamiento a ruido aéreo de fachada.

AISLAMIENTO A RUIDO AÉREO DE FACHADA				
L _d (dBA)	Residencial / Hospitalario		Cultural, sanitario, docente y administrativo	
	D _{2m,nT,Atr} (dBA)			
	Dormitorios	Estancias	Estancias	Aulas
L _d ≤ 60 dBA	30	30	30	30
60 < L _d ≤ 65 dBA	32	30	32	30
65 < L _d ≤ 70 dBA	37	32	37	32
70 < L _d ≤ 75 dBA	42	37	42	37
L _d >60 dBA	47	42	47	42

Como puede observarse, las diferencias en los valores de aislamiento mínimos de fachada entre recintos protegidos y estancias dependen del ruido exterior, no únicamente de la tipología del recinto.

3.2 Documentación previa

Cuando se encarguen ensayos de aislamiento para una certificación acústica de una obra, es necesario se solicite la siguiente información al cliente:

- Tipo de ensayos sobre los que se quiere certificar (puede ser una certificación acústica completa, o parcial).
- Si el motivo de los ensayos es por un requisito administrativo, indicar la legislación de referencia o escrito de la administración donde les solicitan dicha certificación.
- Ubicación de la promoción que se pretende caracterizar.
- Planos de la obra donde queden reflejados:
 - o Tipologías de viviendas en relación a disposición de locales, número de habitaciones, etc.
 - o Ubicación relativa entre viviendas, así como viviendas y zonas comunes, locales de instalaciones o actividades, garajes, etc. (planos generales por planta)
 - o Planos de los alzados para evaluar las fachadas, y los elementos de fachada.
 - o En resumen: Planos que permitan ubicar todas las viviendas de la promoción, y su posición relativa dentro de la misma, así como cualquier otro recinto susceptible de ser ensayado.
- Memoria de calidades (si se trata de certificación de obra) de la obra.
- Documentación oficial en referencia al tipo de área acústica donde se encuentra la promoción de viviendas.

- Datos de la existencia de mapas de ruido para evaluar los niveles de ruido en Fachada, si existen.

En el informe de ensayo se indicará la información recibida, así como los límites utilizados, en función del área acústica, o ruido en Fachada. Cuando dichos datos no estén disponibles, se indicará en el informe los criterios seguidos a la hora de la toma de decisiones.

3.3 Diseño del plan de Muestreo

Para el diseño del plan de muestreo, se seguirán los requisitos del documento legislativo que establezca el número de ensayos mínimos de cada paramento diferente y/o el número mínimo de viviendas a ensayar dentro de un conjunto homogéneo de viviendas.

En primer lugar, se evaluarán las tipologías de viviendas en base a:

- Su distribución espacial.
- Nº de habitaciones y baños.
- Existencia de terrazas y/o miradores.
- Etc.

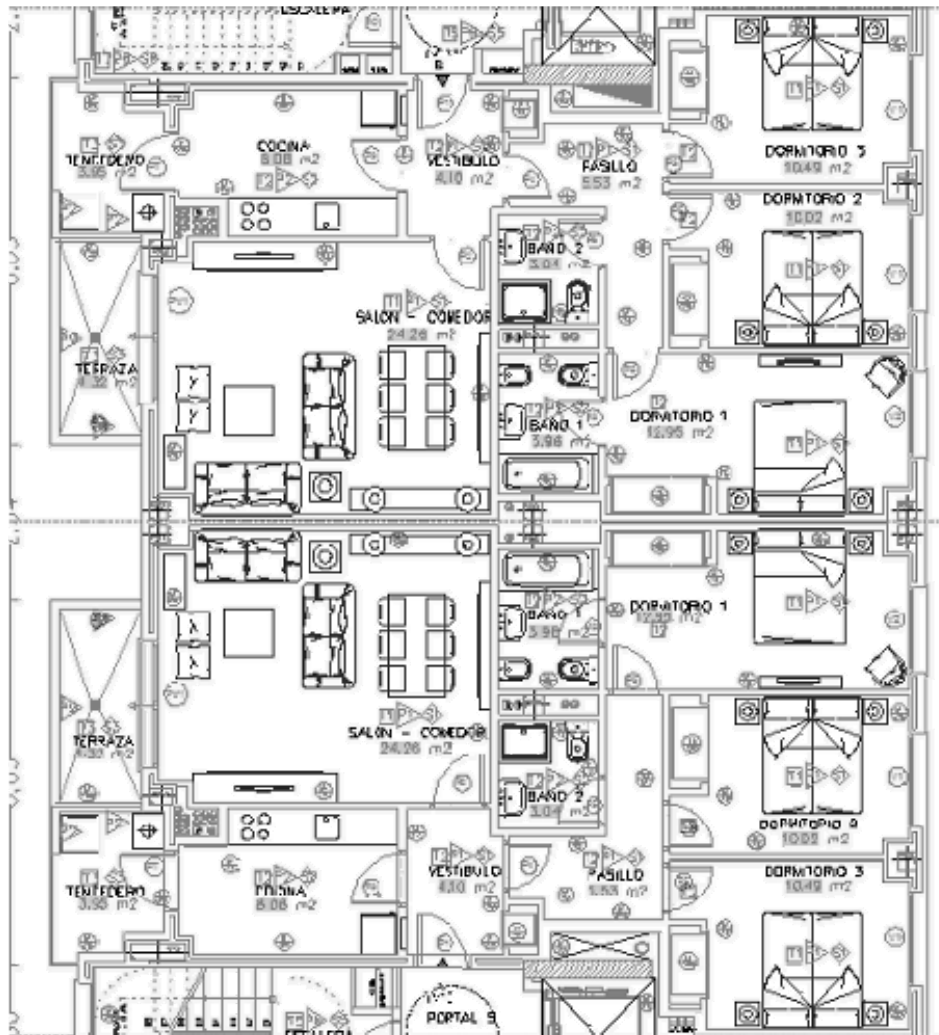


Figura 1. Ejemplo de dos viviendas de la misma tipología, una espejo de la otra.

Una vez definidas las distintas tipologías de viviendas detectadas podrá realizarse sobre el plano un análisis de dichas tipologías, indicando:

- Nº de viviendas de cada una de las tipologías definidas (dentro del total de viviendas)

- Ubicación espacial de cada tipología.

PLANTA SEGUNDA

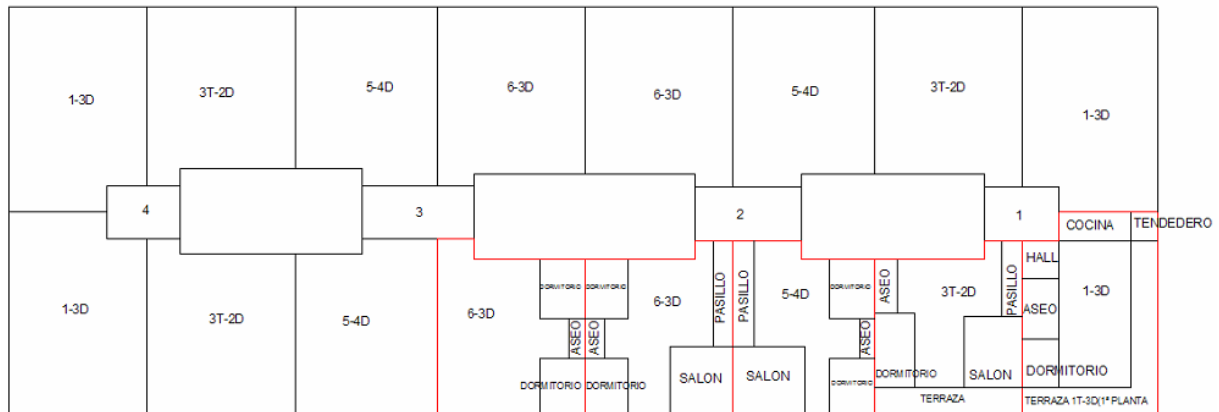


Figura 2. Esquema de ubicación de las tipologías de vivienda dentro de una planta de un inmueble.

Definidas y caracterizadas cada uno de los tipos de viviendas existentes, se procederá a buscar las distintas tipologías existentes dentro de las viviendas en función de la composición del paramento, así como su grado de protección, y se buscarán los casos más desfavorables, de acuerdo a:

- Fachadas de estancias (evaluando superficies parte ciega y elemento).
- Fachadas de dormitorios (evaluando superficies parte ciega y elemento).
- Elementos de separación vertical entre recintos protegidos.
- Elementos de separación vertical entre recintos protegidos y recintos habitables.
- Elementos de separación vertical entre recintos protegidos y zonas comunes.
- Elementos de separación vertical entre recintos protegidos e instalaciones.
- Medianerías en contacto con otro edificio.
- Medianerías en contacto con el aire exterior.
- Elementos de separación Horizontal.

Una vez definidas todas las tipologías, se buscará ensayar el mayor número de tipologías posibles, pero priorizando las tipologías más desfavorables, en términos de aislamiento para cada uno de los ensayos definidos (aislamiento a ruido aéreo, impactos y fachada). El proceso se realizará de la siguiente forma:

- Se parte de la información de las fichas justificativas del cumplimiento del documento "DB-HR" del edificio a evaluar, o bien a partir de la memoria de calidades. A partir de dicha información, se definirán los paramentos diferentes del edificio.
- De cara a definir las tipologías más desfavorables se aplicarán los siguientes criterios:
 - o Usos de los recintos.
 - Se seleccionarán los paramentos que separen recintos de distinta unidad de uso desde el punto de vista de la protección al recinto más sensible.
 - En el caso de fachadas se seleccionarán aquellas cuya relación entre el nivel de ruido incidente y el uso del recinto sea más desfavorable desde el punto de vista de la protección del edificio.
 - o Relación entre superficies. (para fachadas)
 - Se determinará, para una misma tipología de paramento, el cociente entre la superficie de los huecos (elementos de fachada) y la superficie total, seleccionando aquellos casos en los que dicho valor sea mayor.
 - o Relación de volúmenes: (Para fachadas)

- Ante la existencia de dos fachadas equivalentes, en superficie y área de huecos, así como tipología de local, se considerará recinto más desfavorable aquellos cuyo volumen sea menor.
- Tipologías elementos:
 - Para un mismo tipo de vidrio y carpintería, se ensayará antes una practicidad corredera que una oscilo batiente.
 - Se considera más desfavorable elementos con capialzado prefabricado que sin capialzado.
- Aislamiento teórico. Se seleccionarán aquellos paramentos que sobre los cálculos teóricos ofrezcan un menor aislamiento a priori.
- Simplificación: Los criterios siempre se aplicarán de cara a ensayar aquellos paramentos que, a priori, sean más desfavorables. El cumplimiento de éstos permitirá, por extrapolación, presuponer el cumplimiento de otros paramentos menos desfavorables.
- Ejecución del ensayo. Se seleccionarán aquellas disposiciones de los ensayos que permitan el cumplimiento de la norma de aplicación de la forma más precisa posible, y eviten las desviaciones al método. En el caso de fachadas, ante la misma tipología, son preferibles las plantas bajas de los edificios.

3.4 Desviaciones a la norma de ensayo

En el caso de la existencia de muestras de ensayo consideradas como “desfavorables”, pero cuya realización de ensayo implica desviaciones a la norma de aplicación que puedan comprometer al resultado se podrá actuar de la siguiente forma:

- Las muestras serán tenidas en cuenta en el muestreo inicial (e incluidas en el informe), pues debe quedar constancia de dicha tipología.
- Posteriormente se justificará en informe la exclusión de esa tipología dentro del informe a pesar de considerarse como “desfavorable”.
- Las muestras desfavorables no ensayadas deberán sustituirse por nuevas muestras, hasta completar el número mínimo de ensayos de acuerdo a los criterios de muestreo definidos.
- En la declaración de conformidad de la promoción (si aplica) se indicará que la “tipología X” queda fuera de la conformidad al no haber sido posible la realización del ensayo de acuerdo a norma”.

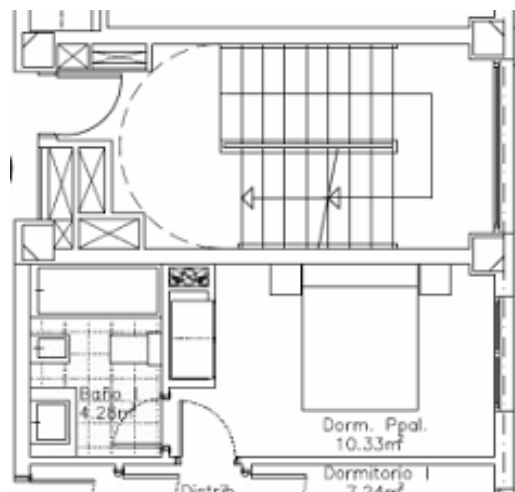


Figura 3. Ejemplo de posible tipología desfavorable no medible. Recinto protegido colindante a escaleras (Zona Común)²

² La idoneidad o no del escenario se basa en los criterios del laboratorio que realice la inspección. En cualquier caso, dichos criterios y las decisiones tomadas deberán quedar justificadas técnicamente.

4 Declaración de conformidad

Una vez seleccionadas las muestras y realizados los ensayos correspondientes éstos deberán ser comparados con la legislación de referencia.

Se podrá declarar conformidad si la totalidad de las muestras ensayadas cumplen los límites dados en la normativa de aislamiento aplicable. Para ello se tendrá en cuenta la incertidumbre expandida al resultado de los ensayos realizados. Además:

- La declaración será clara y concisa, sin ningún tipo de ambigüedad.
- Se describirán las muestras evaluadas.
- Se indicará el documento normativo aplicado.
- Para que el laboratorio pueda declarar conformidad, si se siguen los criterios de entidad de acreditación, es necesario que el documento frente al que se quiera declarar conformidad describa cómo llevar a cabo las actividades de muestreo. En caso contrario, sólo se podrá declarar conformidad de los ítems medidos.
- Sólo se podrá declarar la CONFORMIDAD cuando sean conformes todos los ensayos, de acuerdo al documento normativo. Dicha conformidad tendrá en cuenta las posibles tolerancias admitidas por la normativa aplicable.
- El resultado obtenido de cada ensayo será comparado con el límite aplicable teniendo en cuenta su incertidumbre asociada, de la siguiente forma:
 - o El aislamiento obtenido menos la incertidumbre asociada es superior al límite normativo. El ensayo de aislamiento es, entonces, CONFORME.
 - En caso de que todos los aislamientos sean conformes, la obra es CONFORME.
 - o El aislamiento obtenido más la incertidumbre es inferior al límite normativo. El ensayo es, por tanto, NO CONFORME.
 - En caso de que un ensayo sea NO CONFORME, la obra se considera NO CONFORME.
 - o En el resto de casos, no se podrá determinar la conformidad del aislamiento y, por tanto, tampoco de la obra.
- En el caso en el que debido a los niveles de ruido residual, se determine el aislamiento como un límite de la medida, es decir, mayor o igual a un determinado valor, se declarará la conformidad de la siguiente forma:
 - o Se tendrán en cuenta los criterios anteriores.
 - o Se podrá declarar dicho aislamiento CONFORME, cuando su valor menos la incertidumbre sea superior al límite normativo.
 - o En el resto de casos, no se podrá determinar la conformidad del aislamiento y, por tanto, tampoco de la obra.

NOTA: en el caso de los ensayos de aislamiento a ruido de impactos, y lo indicado en los puntos anteriores en referencia a la conformidad, cámbiese donde pone “menos” por “mas”, y viceversa. Y donde indica “superior” por “inferior” y viceversa.

- No se declarará conformidad de cubiertas, al no poder ser éstas ensayables de acuerdo a norma.
- Cuando muestras desfavorables no sean ensayables de acuerdo a norma, y se hayan excluido del muestreo, debe indicarse en la declaración de conformidad, dejando estas muestras fuera del alcance de la conformidad.

La declaración de conformidad de una obra basada en criterios de muestreo presupone la conformidad de la obra completa, y da pie a que le sea concedida la licencia de primera ocupación. Sin embargo, en ningún caso el muestreo puede ser sustitutivo del muestreo del 100 % de los ensayos. Por lo que, si posteriormente al informe de certificación de obra se demuestra que algún paramento no ensayado no cumple los límites legales, es responsabilidad del promotor/constructor solucionar el problema, no sirviendo el ensayo de certificación para eximir de responsabilidades a la empresa ante elementos no ensayados.

5 REFERENCIAS

- DB HR – Documento Básico de protección frente al ruido de Septiembre 2009.
- Ordenanza Municipal de Protección contra la contaminación acústica de Valencia, del 2008.
- Ley 5/2009, de 4 de Junio, del Ruido de Castilla y León
- NORMA UNE-EN ISO 140-4:1999. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
Parte 4: Medición “in situ” del aislamiento al ruido aéreo entre locales.
- NORMA UNE-EN ISO 140-5:1999. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
Parte 5: Mediciones in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachadas y de fachadas.
- NORMA UNE-EN ISO 140-7:1999: Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
Parte 7: Medición “in situ” del aislamiento acústico de suelos al ruido de Impactos.
- NORMA UNE-EN ISO 140-14:2005. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
Parte 14: Directrices para situaciones especiales in situ.
- NORMA UNE-EN ISO 140-14:2005./AC:2009.Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
Parte 14: Directrices para situaciones especiales in situ.
- NORMA UNE-EN ISO 717-1:2013. Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo.
- NORMA UNE-EN ISO 717-2:2013: Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos.

Caracterización acústica de sistemas de evacuación de aguas residuales

Borja Frutos Vázquez

Dr. Arquitecto. Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción. CSIC

Palabras clave: bajantes, ruido, atenuación acústica, UNE EN 14366:2005.

Resumen

Las instalaciones en edificación presentan una patología particular en la transmisión de ruido aéreo y vibraciones. Son elementos con cierta actividad cíclica que provoca movimientos físicos de distinta índole y que son transmitidos a los recintos habitables en forma de ruido aéreo, si los elementos constructivos no proporcionan el adecuado aislamiento, o en forma de vibraciones a través de los elementos rígidos de fijación y unión. En el ámbito de las bajantes en la edificación, podemos contar con una norma para la caracterización acústica de dichos elementos. La norma UNE EN 14.366:2005 establece un procedimiento para poder evaluar las prestaciones acústicas de los sistemas de evacuación de aguas residuales mediante ensayos realizados en cámaras de laboratorio. Se trata de analizar el ruido emitido por el sistema, tanto en el recinto por donde discurre la bajante, como en el recinto contiguo separado por la pared soporte y de fijación del sistema. En esta evaluación, concurren distintos aspectos constructivos como son los puntos de fijación de la bajante, así como otros derivados del procedimiento de ensayo. En esta comunicación se pretende describir estos aspectos y las posibles problemáticas que llevan asociados.

1 INTRODUCCION

Las instalaciones que poseen los edificios pueden constituir focos de ruido y vibraciones y ser causa de molestias para los ocupantes de los mismos.

En edificios de viviendas, donde las instalaciones suelen constituir un pequeño porcentaje de los elementos que conforman la construcción, los principales focos de ruido los podemos encontrar en los aparatos elevadores, tanto en el hueco por donde discurre la cabina como en su cuarto de máquinas, las calderas comunitarias, los aparatos de aire acondicionado, los conductos de ventilación, las redes de abastecimiento de agua, y las redes de saneamiento, tanto en su distribución vertical como en horizontal. En otro tipo de edificios, donde exista una parte importante de instalaciones en proyecto, pueden aparecer otros focos propios de cada actividad.

La patología acústica derivada de dichas instalaciones aparece cuando, el ruido o las vibraciones que producen, alcanzan a los usuarios del edificio causando molestias que perturban las actividades propias, ya sea en residencial o en puestos de trabajo.

Los principales motivos por los que se producen dichas molestias son:

- un excesivo ruido de la instalación;
- una falta de atenuación acústica en los cerramientos que la encapsulan;
- y una deficiencia en los elementos que amortiguan las vibraciones.

En cualquiera de estos casos, el ruido o la vibración que produce una determinada instalación, puede llegar a transmitirse, tanto por vía aérea como por vía estructural, y alcanzar a los usuarios del edificio, constituyendo una patología acústica de difícil tratamiento. Por tal motivo conviene tener presente en el diseño todos aquellos factores que pueden controlar la generación y transmisión del ruido en la instalación. En este caso tratamos el tema del ruido generado por sistemas de evacuación de aguas residuales en los edificios.

2 MARCO NORMATIVO

La legislación vigente de contaminación acústica aborda esta problemática desde distinto aspectos:

- En la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE) [1], aparece el mandato de incluir una exigencia de protección frente al ruido en la normativa de edificación.
- La Ley del Ruido (Ley 37/2003 de 17 de noviembre) [2], de ámbito estatal, y los Reales Decretos que desarrollan dicha ley (Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre [3]; Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre [4]) tratan de gestionar los focos productores de ruido, limitando los niveles emitidos, y fijando unos niveles máximos de inmisión en los distintos espacios de los edificios en función del uso del mismo, el periodo del día, y del área donde esté ubicado.

El Anexo II del Real Decreto 1367/2007, establece los objetivos de calidad acústica en los ambientes interiores de los edificios en función de su uso y el periodo del día. En la tabla 1, a modo de ejemplo, se recogen los valores de calidad acústica a ruido aéreo para el área residencial.

Tabla 1. Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a vivienda o usos residenciales. (Tabla B del Anexo II del RD 1367/2007)

Uso del edificio	Tipo de Recinto	Índices de ruido		
		L_d	L_e	L_n
Vivienda o uso residencial	Estancias	45	45	35
	Dormitorios	40	40	30

La tabla 2 recoge los valores de calidad acústica para los índices de vibración.

Tabla 2. Objetivos de calidad acústica para vibraciones aplicables al espacio interior habitable de edificaciones. (Tabla C del Anexo II del RD 1367/2007)

Uso del edificio	Índice de vibración L_{aw}
Vivienda o uso residencial	75
Hospitalario	72
Educativo o cultural	72

Estas dos tablas se refieren al índice resultante del conjunto de emisores acústicos que inciden en el ambiente interior. Cuando se trata de un único emisor acústico, como pueden ser las instalaciones de bajantes, los valores cambian ligeramente (ver tabla 3).

Tabla 3. Valores límite de ruido transmitido a locales colindantes por actividades. Uso residencial. (Tabla B2 del Anexo III del RD 1367/2007)

Uso del local colindante	Tipo de Recinto	Índices de ruido		
		$L_{K,d}$	$L_{K,e}$	$L_{K,n}$
Residencial	Zonas de estancias	40	40	30
	Dormitorios	35	35	25

Los valores de estas tablas fijan la referencia, a nivel nacional, para la evaluación de las inmisiones de ruido aéreo y de vibraciones que se producen en el interior de los edificios.

Por otro lado, el Código Técnico de la Edificación (CTE) [5], desde un punto de vista constructivo, establece los criterios de diseño de las instalaciones para evitar la transmisión de un ruido excesivo. Figuran en los apartados 2.3, y 3.3 del Documento Básico de Protección frente al Ruido DB-HR. Dichos criterios se basan fundamentalmente en la incorporación de elementos de fijación que atenúen la transmisión estructural.

En esta comunicación nos centraremos únicamente en el ruido que transmiten los sistemas de evacuación de aguas residuales, de su evaluación mediante ensayos en cámaras normalizadas de laboratorio, y de los aspectos fundamentales que son evaluados mediante los distintos índices de ruido que se ofrecen como resultado.

3 ESQUEMA Y COMPONENTES DE UN SISTEMA DE AGUAS RESIDUALES

Una instalación de aguas residuales se compone principalmente de una bajante (tubería en tramo vertical con ventilación superior) que recoge las aguas residuales de los cuartos húmedos de cada planta, y las conduce hacia la red de alcantarillado público (Ver figura 1).

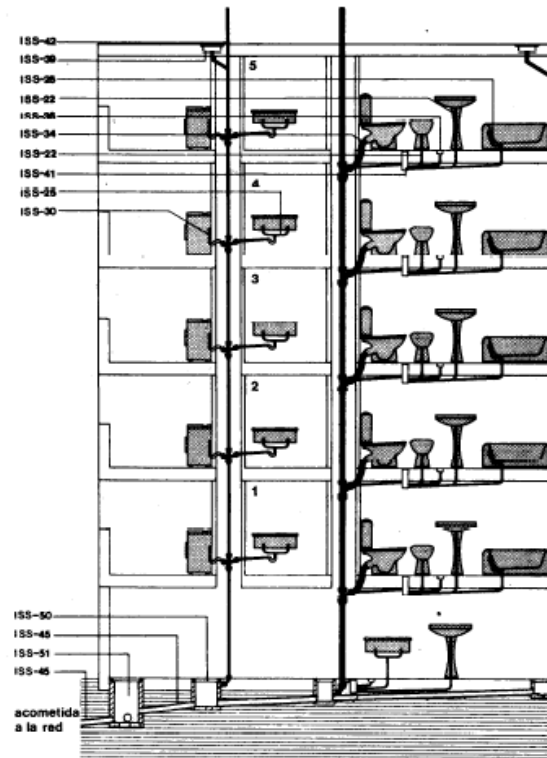


Figura 1. Esquema de un sistema de evacuación de aguas residuales (NTE-ISS) [6]

Los elementos y aspectos relevantes de esta red son los siguientes:

- Tramo vertical (Bajante): Tubería de diámetro comprendido entre 50-315 mm, con ventilación primaria, secundaria o terciaria (en función del número de plantas).

El tramo debe ser lo más recto posible, sin desviaciones ni retranqueos.

Los materiales habitualmente usados para estos fines son PVC y Polipropileno. Últimamente están apareciendo productos en el mercado de varias capas, con distintas densidades, que consiguen mejorar las prestaciones acústicas.

Se deben diseñar para que el agua únicamente ocupe 1/3 de la sección de la tubería como máximo (CTE-HS).

- Fijación de la bajante: Las bajantes deben ir fijadas a la obra (de espesor no menor de 12 cm y masa superficial >150 kg/m². CTE DB-HR 3.3.3.1) mediante puntos fijos y abrazaderas. La distancia entre puntos de fijación depende del diámetro de la tubería. Como ejemplo, para un diámetro de 110 mm, deben disponerse puntos de fijación cada 1,5 m.

- Tramo horizontal, enterrado o colgado: A este tramo, normalmente en la parte más baja del edificio, acometen las bajantes, y desemboca en el alcantarillado público. El diámetro depende del número de unidades a los que sirva, y debe calcularse para una sección llena de $\frac{3}{4}$ como máximo. La pendiente puede oscilar entre un 1% para colectores colgados y un 2% para tuberías enterradas.

- Paso de forjado: No pueden existir conexiones rígidas entre la tubería y el edificio (CTE DB-HR, apartado 3.3.3.1)

4 PROBLEMÁTICA DE RUIDO Y VIBRACIONES ASOCIADA A LAS CONDUCCIONES DE AGUAS RESIDUALES– BAJANTES.

La instalación de sistemas de evacuación de aguas residuales puede constituir un foco transmisor de ruido a los espacios colindantes si no se ejecuta debidamente y con materiales apropiados.

Normalmente, y salvo que la instalación funcione a tubo lleno como es el caso de los sistemas sifonados, el agua que discurre por la bajante lo hace en régimen turbulento. Ello produce un ruido debido al choque con las paredes del tubo que puede ser transmitido por vía aérea a los espacios colindantes, o por vía estructural a través de los puntos de fijación de la bajante a la fábrica de separación.

En esta transmisión del ruido concurren diversos aspectos:

- La altura de caída de la bajante. A mayor altura mayor velocidad del fluido.
- El diámetro.
- La composición y material de la tubería: La densidad, los cambios de capas en sistemas multicapa, las cargas minerales, o la rigidez del tramo, son aspectos que modifican las características del ruido aéreo transmitido.
- Los puntos de fijación de la bajante a la obra. Estos puntos son los encargados de dar una estabilidad a la tubería para que pueda soportar los envites del fluido. Sin embargo, también son los causantes de que se produzcan ruidos estructurales en los espacios colindantes debido a la transmisión de la vibración de la bajante a través de los puntos de anclaje a la pared. El tipo de fijación, en cuanto a su capacidad para amortiguar la vibración de la bajante y atenuar su transmisión a la pared de anclaje, es un aspecto relevante a la hora de evaluar la transmisión del ruido estructural.
- Forros de bajantes. Pueden aparecer en forma de encapsulado de la bajante para reducir la transmisión de ruido aéreo y de vibraciones. Suelen usarse materiales con altas densidades, y con capacidad absorbente.

5 EVALUACIÓN DEL RUIDO DE LAS INSTALACIONES DE BAJANTES MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos de laboratorio permiten conocer el comportamiento de un sistema de evacuación de aguas residuales en la evaluación de todos aquellos aspectos que intervienen en la transmisión del ruido aéreo y estructural, tales como los comentados en el punto anterior.

Como norma de ensayo de referencia existe la norma UNE EN 14366: 2005 “Medición en laboratorio del ruido emitido por instalaciones de evacuación de aguas residuales” [7]

En dicha norma se establece un método de ensayo en el que se fijan distintos parámetros para la instalación:

El montaje del sistema se realiza en cámaras normalizadas de ensayo con dos recintos separados por una pared de masa superficial conocida y acotada ($200 \pm 50 \text{ kg/m}^2$). Por uno de los recintos discurre la bajante que se ancla a la pared de separación con el otro recinto. De esta manera se evalúa el ruido aéreo en la propia cámara donde está la bajante y el ruido aéreo y estructural transmitido al recinto colindante. Cada uno de los recintos debe tener un volumen superior a 50 m^3 .

El sistema de ensayo parte con un tramo horizontal por donde entra en carga de agua. Éste acomete a la bajante vertical, con ventilación superior y con una altura de caída con respecto al punto más bajo de entre 5,8 m y 7,5 m. La bajante entra en el recinto de la cámara y se fija a la pared separadora mediante dos puntos de fijación del sistema que se quiera evaluar. Previo al paso de los forjados, debe disponerse de unos accesorios en T que simulan la entrada de inodoros. A la salida del forjado de suelo, se colocan dos codos de 45 grados

para introducir un tramo horizontal de cuelgue que cierra el circuito en el depósito y bomba de impulsión. Ver figuras 2 y 3.

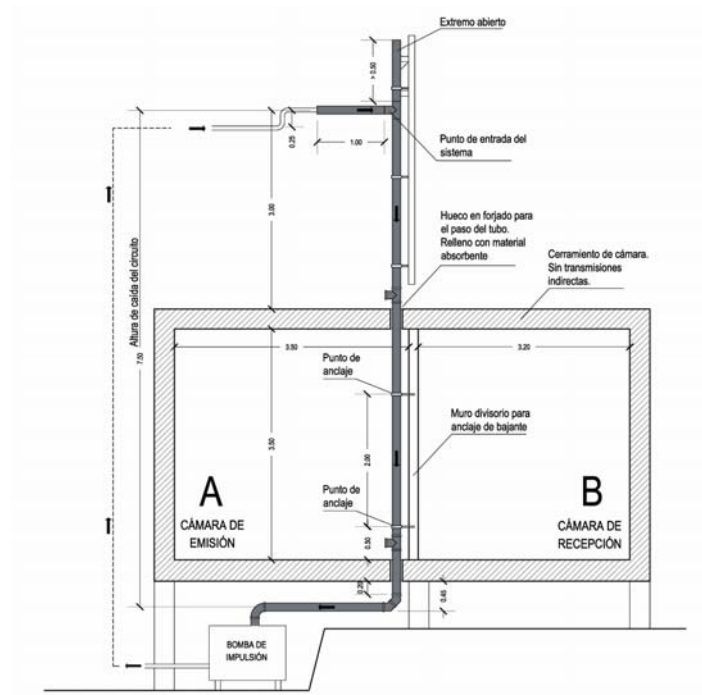


Figura 2. Esquema del sistema y cámaras de laboratorio. Instituto Eduardo Torroja



Figura 3. Fotografías de las cámaras de ensayo, emisión y recepción. Instituto Eduardo Torroja

El ensayo se basa en evaluar los distintos índices de ruido, que se producen en las dos cámaras de ensayo, cuando por el sistema circula agua con diferentes caudales (de 0,5 a 8 l/s).

- Ruido aéreo (emitido en la cámara de emisión). Cámara donde se instala la bajante
- Ruido estructural (transmitido a la cámara de recepción). Cámara contigua separada por una pared de fijación de la bajante

Los elementos que componen el sistema de ensayo, y que son relevantes en el resultado del mismo, son los siguientes:

- Tubería: El tipo de tubería, material y capas de las paredes.
- Sistema de fijación a la pared. Tanto las bridas, su diseño y materiales, como los puntos de anclaje a la pared.
- Forros o camisas de la bajante. Estos elementos encapsulan la tubería.

Los índices de ruido que se evalúan son los siguientes:

- Caracterización de la Sensibilidad Estructural de la pared soporte: Por medio de acelerómetros y una fuente direccional, se evalúa la vibración que se produce en los puntos de anclaje. Este dato nos aporta una normalización con respecto a una pared de referencia.

$$L_{SS} = L_v - L_W + 10 \lg \frac{V_r}{T_r} - 59 \text{ dB}$$

- Medida del ruido estructural en el recinto de RECEPCIÓN, índices L_{sn} y L_{sc} :

Para cada tasa de flujo (0,5 – 1 – 2 – 4 – 8 l/s), y para un rango de frecuencias de 100-5.000 Hz, se mide el ruido en el recinto de recepción. También se mide el ruido de fondo para hacer la corrección oportuna.

L_{sn} : Ruido en recepción, corregido por ruido de fondo y normalizado a un área de absorción equivalente de 10 m².

$$L_{sn} = L_s - 10 \lg (T_r) + 10 \lg (0,16 V_r / 10)$$

L_{sc} : Ruido en recepción, corregido por ruido de fondo, normalizado a un área de absorción equivalente de 10 m², y corregido por la sensibilidad de la pared soporte.

$$L_{sc} = L_{sn} - \Delta L_{SS}$$

- Medida del ruido aéreo en el recinto de EMISIÓN, índices L_{tn} y L_{an} :

Para cada tasa de flujo (0,5 – 1 – 2 – 4 – 8 l/s), y para un rango de frecuencias de 100-5.000 Hz, se mide el ruido en el recinto de emisión. También se mide el ruido de fondo para hacer la corrección.

L_{tn} : Ruido en emisión, corregido por ruido de fondo y normalizado a un área de absorción equivalente de 10 m².

$$L_{tn} = L_t - 10 \lg (T_e) + 10 \lg (0,16 V_e / 10)$$

L_{an} : Ruido en emisión, corregido por ruido de fondo, normalizado a un área de absorción equivalente de 10 m², y restado el ruido aéreo causado por la vibración de la pared.

$$L_{an} = 10 \lg (10^{L_{tn}/10} - 10^{L_{sn}/10})$$

Los resultados obtenidos de estos índices se representan en gráficas por frecuencias y finalmente se calcula un valor único para cada índice con ponderación A.

6 ASPECTOS RELEVANTES DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Estos cuatro índices caracterizan un sistema de bajantes en cuanto a su comportamiento acústico. Como aspectos relevantes de la evaluación se podrían destacar los siguientes:

- Al aumentar la tasa de caudal del circuito, el ruido emitido es mayor. Aunque este punto parece obvio, y en términos generales se cumple, resulta interesante observar como para un determinado rango de frecuencias,

esto no siempre es cierto. Este efecto se debe a que el régimen turbulento del agua no se comporta de una forma lineal en relación al caudal de circulación.

- Los ruidos que se producen en la cámara de emisión tienen un comportamiento relativamente plano, con valores comprendidos en un rango de 30 a 50 dB para todas las frecuencias y para todos los flujos analizados. Ver figura 4.

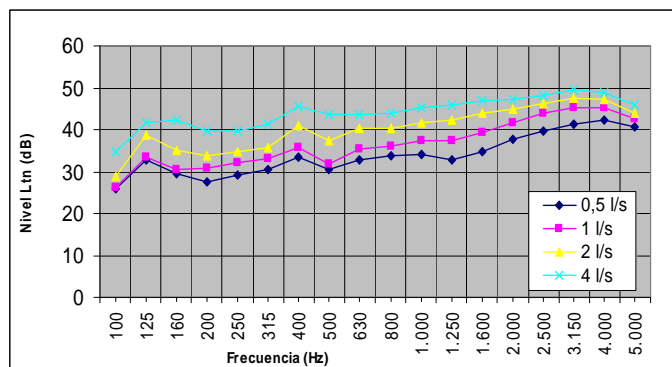


Figura 4. Índice Ltn para un sistema de bajante. Cámara de emisión.

Este índice Ltn nos permite conocer el ruido aéreo que produce la bajante en la cámara de emisión. Se ha podido comprobar que formulaciones de plásticos distintas, dan resultados de emisión distintos, jugando un papel importante la densidad de la pared del tubo.

Para un caudal de 2 l/s, un rango habitual de índice de ruido global Ltn expresado en decibelios A ($L_{t,A}$), para dos tipos de tuberías, una con pared simple y otra multicapa, suele ser el siguiente:

Caudal 2 l/s. Tubería simple: $L_{t,A} = 52-56$ dBA

Caudal 2 l/s. Tubería multicapa o densidad superior: $L_{t,A} = 48-51$ dBA

Este índice también nos permite conocer la atenuación acústica que puede introducir un tipo de forro de bajante.

- Los resultados obtenidos en la cámara de recepción muestran como, para un mismo sistema de bajantes, se produce una atenuación importante en un rango de frecuencias medias y altas. Ver figura 5.

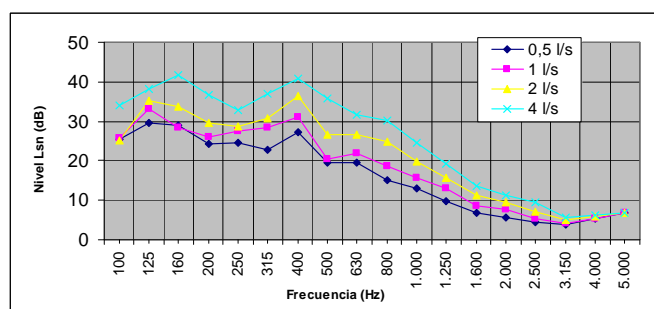


Figura 5. Índice Lsn para un sistema de bajante. Cámara de recepción.

Dado que la pared intermedia suele tener un índice de aislamiento acústico suficiente como para aislar el ruido aéreo de la bajante, lo que permite evaluar el índice Lsn es el ruido estructural transmitido a la sala colindante debido al sistema de fijación de la bajante. En este sentido, son los elementos de fijación los que influyen en un mayor orden en el resultado del ruido transmitido al recinto colindante.

En estos elementos de fijación actúan tanto las bridas que abrazan al tubo, y que permiten un grado determinado de movimiento, como los puntos de anclaje a la pared que son los responsables de la transmisión directa de la vibración al soporte.

La incorporación de elementos anti vibración, tanto en el tubo como en el elemento de anclaje, mejora sustancialmente el resultado del ruido transmitido.

El espesor y masa superficial de la pared de ensayo, y la configuración estructural de la cámara, son aspectos a tener en cuenta en el análisis de los resultados en el ruido transmitido. Para el caso concreto de las cámaras instaladas en el Instituto Eduardo Torroja, se ha escogido un tipo de pared soporte que se adapta a las exigencias del CTE como elemento separador de unidades de uso distintas. De esta forma se evalúan las calidades acústicas en ambos recintos conforme a las prescripciones constructivas del CTE.

7 CONCLUSIONES

La norma UNE EN 14366: 2005 permite analizar el comportamiento acústico de un sistema de evacuación de aguas residuales mediante ensayos realizados en cámaras normalizadas de laboratorio. Mediante este ensayo se puede conocer el ruido aéreo que emite el sistema en la cámara por donde pasa la bajante, y el ruido estructural transmitido a la sala colindante a través de los puntos de fijación en una pared soporte intermedia.

El Real Decreto 1367/2007 es el marco legal de referencia, de ámbito estatal, para poder evaluar el ruido transmitido. Establece los valores límite de ruido transmitido a locales colindantes por actividades. El ensayo aporta los datos necesarios para poder estudiar la idoneidad del sistema conforme a los valores que exige el real decreto.

Los elementos que son evaluables en este ensayo, y que varían el resultado del ruido del sistema, son: los tubos, tanto en su formulación química como en el diseño de las capas de pared; las bridas que abrazan al tubo; y los sistemas de anclaje a la pared soporte. También puede analizarse la capacidad atenuadora de un forro o camisa envolvente de la bajante. Cada uno de estos elementos tiene una influencia distinta en emisión o recepción, siendo necesario realizar un buen diseño del sistema para obtener un resultado que cumpla con los valores exigidos por la normativa.

Hay que tener en cuenta que la configuración de las cámaras de laboratorio y la pared soporte son aspectos que deben analizarse previamente y ajustarse a la tipología constructiva propia del país, siendo nuestra referencia la descrita en el CTE en cuanto a paredes separadoras de unidades de uso distintas.

REFERENCIAS

- [1] LEY DE ORDENACIÓN DE LA EDIFICACIÓN- LOE. Ley 38/1999, de 5 de noviembre. Jefatura del Estado. (BOE núm. 166, de 6 noviembre de 1999).
- [2] Ley del Ruido, Ley 37/2003 de 17 de noviembre. (BOE núm. 276, de 18 noviembre de 2003).
- [3] Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre. (BOE núm. 301, de 17 diciembre de 2005)
- [4] Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre. (BOE núm. 254, de 23 octubre de 2007)
- [5] REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación - CTE. (BOE núm. 74, de 28 marzo de 2006)
- [6] Norma Tecnológica de la Edificación - NTE. Instalaciones de salubridad – ISS. 1973.
- [7] UNE EN 14366: 2005 “Medición en laboratorio del ruido emitido por instalaciones de evacuación de aguas residuales”

Edificios existentes con estructura de madera. Rehabilitación y acústica

Giovanni Muzio
Arquitecto.

Palabras clave: Madera, Sostenibilidad, acústica, entramados, rehabilitación.

Resumen

Nosotros hemos emprendido la vía de la innovación sobre los sistemas de entramado de madera, con el desarrollo y aplicación de un sistema constructivo innovador y con la rehabilitación estructural y acústica de forjados con nervios de madera con sistema “novedosos” en edificios con estructura de entramado tradicional.

Tres ejemplos: Un pareado en el que cuidamos sobre todo las uniones entre elementos, que condicionan mucho el resultado acústico, y en el que cumplimos y además alcanzamos un buen confort en las viviendas. Los otros ejemplos la ampliación y reforma de un Ayuntamiento y la reforma integral de un edificio residencial cerca de Logroño, dos obras de rehabilitación extremadamente accidentadas en la que sin embargo los resultados están siendo muy positivos, resultando viable cumplir el CTE DB-HR, optimizando los costes, incorporando las necesidades acústicas desde la fase de refuerzo estructural, y consiguiendo entonces los resultados requeridos sin un excesivo dispendio de medios

Ejemplo de rehabilitación acústica de forjados de madera

Amelia Romero Fernández

Ingeniero de Telecomunicación. Unidad de Calidad en la Construcción. IETcc – CSIC

Belén Casla Herguedas

Ingeniero agrónomo. Unidad de Calidad en la Construcción. IETcc - CSIC

M^a Teresa Carrascal García

Arquitecto. Unidad de Calidad en la Construcción. IETcc – CSIC

Palabras clave: aislamiento acústico, rehabilitación, forjado de madera, suelo flotante.

Resumen

La siguiente comunicación resume el estudio realizado en un edificio histórico con forjados de madera en estado de rehabilitación, atendiendo a aspectos de aislamiento acústico.

Se estudiaron las distintas fases de intervención, analizando sus prestaciones acústicas in situ, mediante ensayos normalizados de aislamiento acústico a ruido aéreo y a ruido de impactos:

- *Fase 1: Forjados en su estado inicial;*
- *Fase 2: Forjados mixtos de estructura de madera con capa de compresión de hormigón con conectores;*
- *Fase 3: Forjados en su estado final;*

En la última fase de la intervención se instalaron diferentes soluciones de suelo flotante para estudiar la mejora conseguida y valorar las posibilidades y el grado de cumplimiento de las exigencias aplicables por la normativa vigente.

1 INTRODUCCIÓN

Vivimos en una época en la que tanto el sector inmobiliario como la actividad en la construcción se han desplomado en nuestro país. Es por ello que las políticas de vivienda estén centrándose y dándole prioridad a la rehabilitación. En este sentido la normativa vigente en materia de edificación (Código Técnico de la Edificación, CTE [1]) está siendo actualizada y en breve se publicará, entre otros, el Documento Básico de Protección frente al Ruido (DB HR [2]) con los criterios de rehabilitación a aplicar.

El parque de edificios con estructura de madera en España es enorme, no sólo en el ámbito de la arquitectura monumental sino también, y sobre todo, en viviendas en altura anteriores al siglo XX. La intervención en estructuras de madera de este tipo es cada vez más frecuente y el prescriptor no encuentra prácticamente información al respecto [3]. El principal problema al que nos enfrentaremos es la caracterización acústica inicial de los elementos constructivos para conocer sus prestaciones de partida y poder valorar las actuaciones necesarias y las prestaciones finales que pueden alcanzarse.

2 OBJETIVO

El objeto principal de este trabajo ha sido estudiar, en un caso de rehabilitación real, las prestaciones acústicas in situ de los forjados de estructura de madera. Se trata de la rehabilitación del Ayuntamiento de Briñas, en La Rioja.

Las prestaciones que se han estudiado son las de aislamiento acústico a ruido aéreo [4] y a ruido de impactos [5] en diferentes fases del proceso de rehabilitación hasta obtener las prestaciones acústicas finales tras la instalación de diferentes soluciones de suelo flotante.

3 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

Se ha intervenido en el edificio de la antigua Casa Consistorial de Briñas, en el que se han desarrollado las obras de reforma y ampliación del edificio municipal para albergar usos culturales, sociales y administrativos. El edificio es enteramente de propiedad municipal y tiene planta baja, primera, segunda y bajo cubierta. El edificio existente tiene más de cien años de antigüedad y, aunque se hayan realizado algunas reformas éstas han sido parciales, sin realizarse actuaciones de importancia en los últimos años. El edificio tenía problemas de cierta gravedad y su estado inicial no respondía a las necesidades ni en cuanto a superficie ni en cuanto a funcionalidad, habitabilidad y confort mínimos exigibles.

Su estructura es de tipo tradicional mixta, formada por muros de carga y en algunas zonas entramado de madera con paños colaborantes en la función de carga, y forjados de madera.

3.1 Elementos constructivos

El tipo de construcción del edificio es con muros de carga de gran espesor en los que la sección y prestaciones de resistencia de los materiales empleados disminuyen conforme se sube de planta.

La fachada, en planta baja tiene piedra vista de sillar (fachada oeste) o sillar tosco (fachada norte) o sillarejo (fachada sur); las plantas superiores son de sillarejo enfoscado, existiendo la posibilidad de que existan algunos paños de tapial y ladrillo, por lo menos hacia el interior del edificio. Los muros interiores son de gran sección en la planta baja, de sección aparentemente robusta en planta primera y de espesor más reducido en la planta segunda.

Los forjados están formados por viguetas de madera apoyadas en vigas que cortan la luz, y éstas apoyadas en los muros de carga o en pilares; aunque en alguna zona podría limitarse a la sola estructura secundaria de

viguetas apoyadas en los muros. En muchos puntos tanto de la planta primera como de la segunda se encontraron recrecidos de espesor elevado.

3.2 Estado de conservación

Dada la edad del edificio y que no se habían realizado reformas en los últimos años, la primera actuación al comenzar las obras fue verificar el estado de conservación general, abriendo calas y realizando unas primeras demoliciones para verificar la composición constructiva de los forjados y muros y así poder estudiar la estructura y conocer su estado de conservación.

El estado de conservación del edificio se definió como deficiente en general en cuanto a condiciones de habitabilidad, y con graves limitaciones en cuanto a sus instalaciones, al aislamiento, y al estado de los acabados, pero resultó además acompañado por patologías constructivas graves. Se decidió concentrar la intervención en la consolidación estructural y en la reparación de las fachadas.

Los forjados presentaban problemas estructurales serios. Se realizó la demolición de todos los recrecidos originales y se optó por la sustitución de toda la zona de forjado de la sucursal bancaria en primera planta (P1_2), con dos vigas, viguetas y tablero de madera. Hubo otro forjado (P2_0) en el que se procedió de manera similar, demoliendo todo el relleno entre viguetas y sustituyéndolo por tablero de madera, aunque conservando las viguetas originales.

En el resto de casos se conservó la estructura original de los forjados: viguetas (alguna sustituida) y entrevigado.

En general se previó el refuerzo de los forjados mediante capa de refuerzo de hormigón con conectores. Además, se ha aprovechado esta intervención de rehabilitación de los forjados para los propósitos de este estudio, realizando el análisis de la mejora de las prestaciones acústicas de los mismos mediante la instalación de diferentes soluciones de suelo flotante.

4 DESCRIPCIÓN DE LOS FORJADOS ENSAYADOS

La nomenclatura utilizada para los recintos se basa en las siglas: PB_ (Planta baja), P1_ (Primera planta) y P2_ (Segunda planta), acompañados de un número de recinto. Los recintos en los que se realizaron los ensayos y sus correspondientes forjados son:

- | | | | |
|----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|
| - P1_1 sobre PB_1: | Forjado 1 | - P2_1 sobre P1_1: | Forjado 4 |
| - P1_2 + P1_0 sobre PB_2: | Forjado 2 | - P2_2 sobre P1_2 + P1_0: | Forjado 5 |
| - P2_0 sobre P1_2 + P1_0: | Forjado 3 | | |

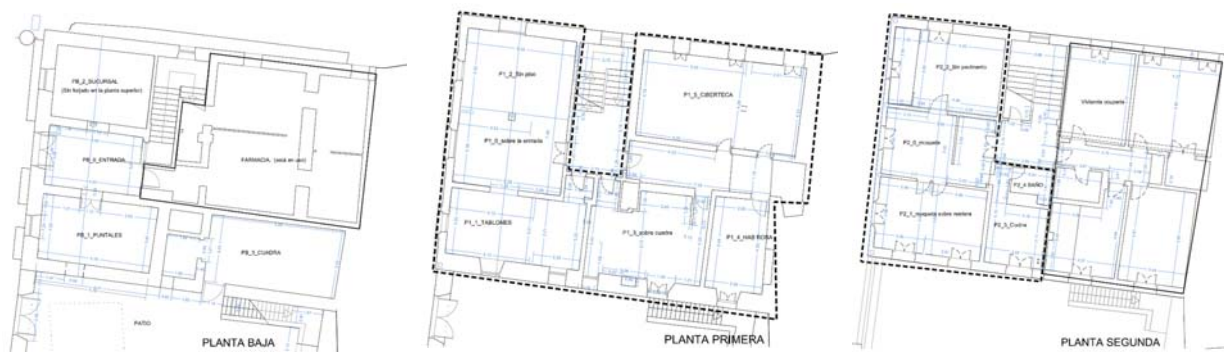


Figura 1. Planos del edificio.

4.1 Forjados en Fase 1

Los forjados de madera estudiados se pueden agrupar en dos tipologías:

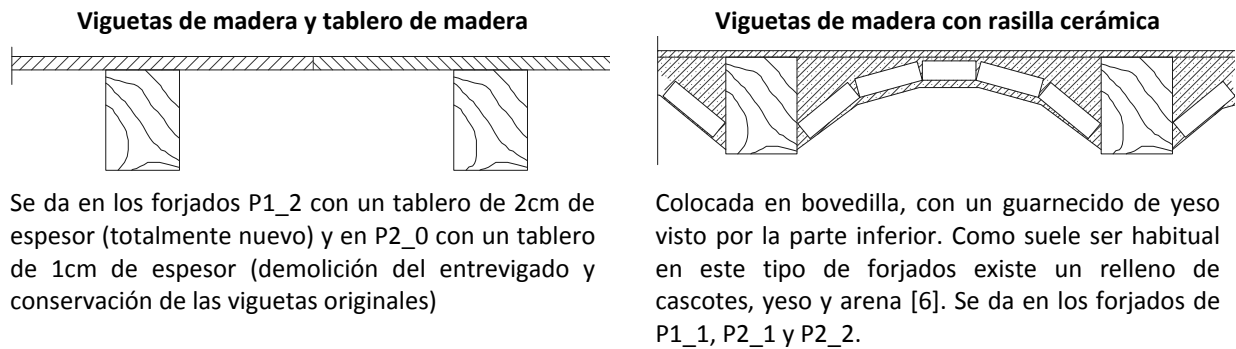


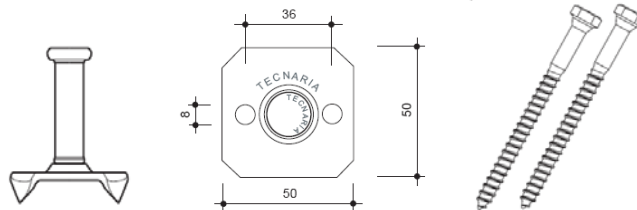
Figura 2. Tipología de los forjados estudiados.

4.2 Forjados en Fase 2

Se tienen los forjados desnudos de la Fase 1 a los que se les ha instalado una solera de hormigón como refuerzo del forjado, disponiendo adecuadamente elementos de conexión con la vigueta (conectores) para que el conjunto trabaje solidariamente como una pieza mixta de hormigón y madera [7] aumentando la resistencia y rigidez del forjado existente. El espesor de esta capa de hormigón ha sido de 5cm.

Existen diferentes sistemas de conexión; en este caso se han utilizado dos tipos de conectores:

- Conectores BASE de Tecnaría®, en planta 1;



- Conectores VB CS100900 de Rothoblaas, en planta 2;



Figura 3. Conectores Rothoblaas.

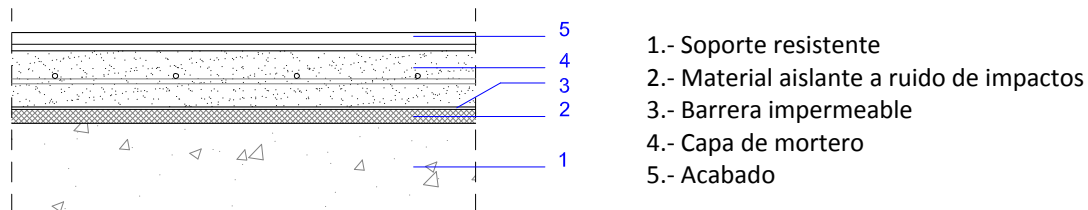
4.3 Forjados en Fase 3

En Fase 3 los forjados están completamente rehabilitados con su composición final. A cada forjado definido en Fase 2 se le añade una solución de suelo flotante que dotará al conjunto de una mejora de aislamiento acústico.

5 DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS FLOTANTES

En Fase 3, se instalan diferentes soluciones de suelo flotante sobre la capa de compresión. Se han ensayado tres tipologías de suelo flotante:

- Suelo flotante con solera de mortero de cemento (SF 3, SF4 y SF 5)



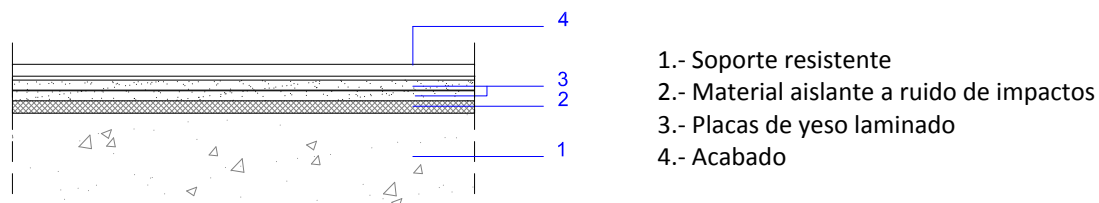
Los materiales aislantes que se han utilizado son:

- SF3 - PE: Lámina antiimpacto de polietileno reticulado *Impactodan* 10 de *Danosa*, PE-R 10mm de espesor. Rigidez dinámica $<65\text{MN/m}^3$;
- SF4 - LM: Lana mineral *Panel solado* de *Isover*, de 20mm de espesor. Rigidez dinámica 17MN/m^3 ;
- SF5 - EEPS: Planchas de poliestireno expandido elastificado, EEPS *Neopor*® de *BASF*, 50mm de espesor. Rigidez dinámica $10\text{-}20\text{MN/m}^3$;

Los espesores medios del recrecido de mortero han sido:

- SF 3 - PE: 5cm;
- SF 4 - LM: 5cm;
- SF 5 - EEPS: 6,5cm;

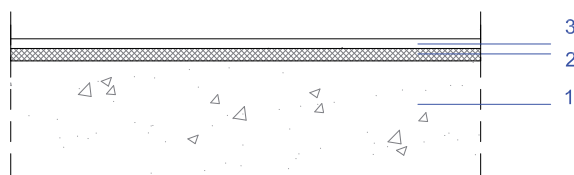
- Suelo flotante con solera seca (SF 6)



- Doble placa de yeso laminado reforzadas con fibras *Rigidur* de *Placo* de 10mm de espesor cada una;
- Lana mineral *Rocksol-E 501* de *Rockwool*, de 30mm de espesor. Rigidez dinámica $8,25\text{MN/m}^3$.

Ha sido necesario utilizar un pequeño recrecido previo de nivelación de las flechas más acentuadas; se ha realizado con mortero aligerado con arlita.

- Tarima flotante (SF 2)



- 1.- Soporte resistente
- 2.- Material aislante a ruido de impactos
- 3.- Acabado. Solado de madera

- Lámina antiimpacto de polietileno expandido *Texsilen* de *Texsa*, PE-E 3mm de espesor. Rigidez dinámica <70MN/m³;
- Suelo machiembado de madera laminada ***Finfloor Fiesta*** de ***Finsa***, de 7mm de espesor.

Ha sido necesario colocar una capa de nivelación de hormigón de 6cm de espesor medio.



En todos los casos el acabado del forjado (solado) ha sido un suelo machiembado de madera laminada *Finfloor Fiesta* de *Finsa*, de 7mm de espesor. Bajo la madera laminada se instala la lámina de PE-E Texilen de Texsa de 3mm de espesor.

Figura 4. Suelo de madera laminada *Finfloor Fiesta* de *Finsa*.

La asignación de las diferentes soluciones de suelo flotante a cada forjado/recinto ha sido:

Tabla 1. Asignación de suelos flotantes

Suelo flotante	Recinto
SF1 - Capa de compresión (Caracterización de forjados en Fase 2 para comprobar la mejora debida a la capa de compresión)	P1_1, P1_2, P2_0, P2_1 y P2_2
SF2 ^(*) - Tarima flotante con PE	P2_1
SF3 - Polietileno (PE)	P1_2
SF4 - Lana mineral (LM)	P1_1
SF5 - Poliestireno expandido elastificado (EEPS)	P2_0
SF6 ^(*) - Solera seca con LM	P2_2

^(*) Los suelos SF2 y SF 6 se instalan directamente sobre la capa de compresión. Sin embargo, debido a los desniveles del recinto fue necesaria una capa de recredido de mortero de nivelación previa.

6 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

Se realizaron ensayos normalizados de aislamiento a ruido aéreo y a ruido de impactos. Los ensayos fueron realizados por el Laboratorio de Ensayos Acústicos *LABENAC*.

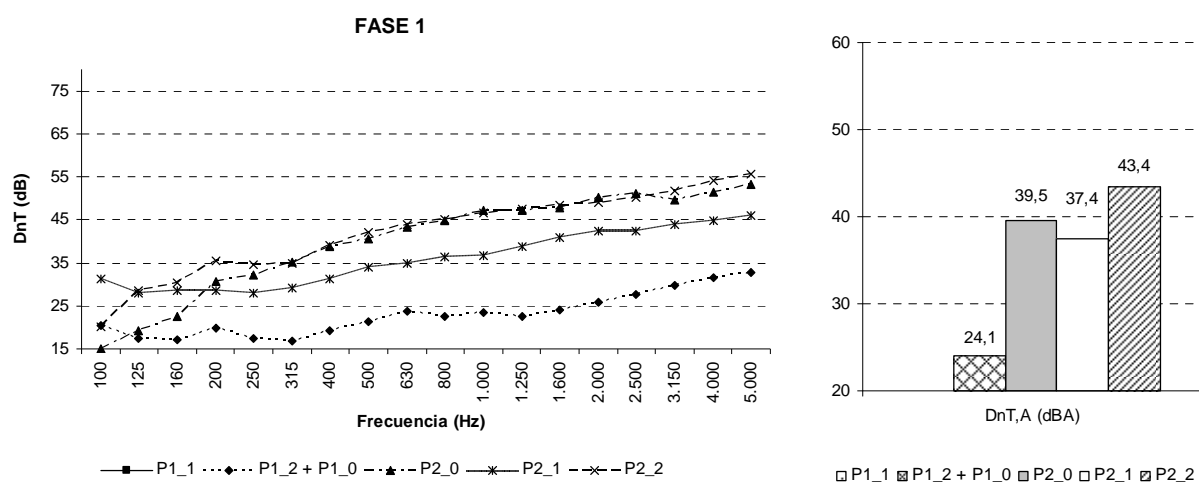
6.1 Fase 1

A continuación se muestran numérica y gráficamente los resultados obtenidos en la Fase 1:

FASE 1 ^(*)	P1_1 sobre PB_1	P1_2 + P1_0 sobre PB_2	P2_0 sobre P1_2 + P1_0	P2_1 sobre P1_1	P2_2 sobre P1_2 + P1_0
$D_{nT,A}$		24,1 dBA	39,5 dBA	37,4 dBA	43,4 dBA
$L'_{nT,w}$		92 dB		79 dB	

(*) En Fase 1 hubo ensayos que no se pudieron realizar tanto por motivos de seguridad en el acceso a la obra (P1_1) como por las características propias del forjado en esta fase (P2_0 y P2_2).

Aislamiento a ruido aéreo



Aislamiento a ruido de impactos

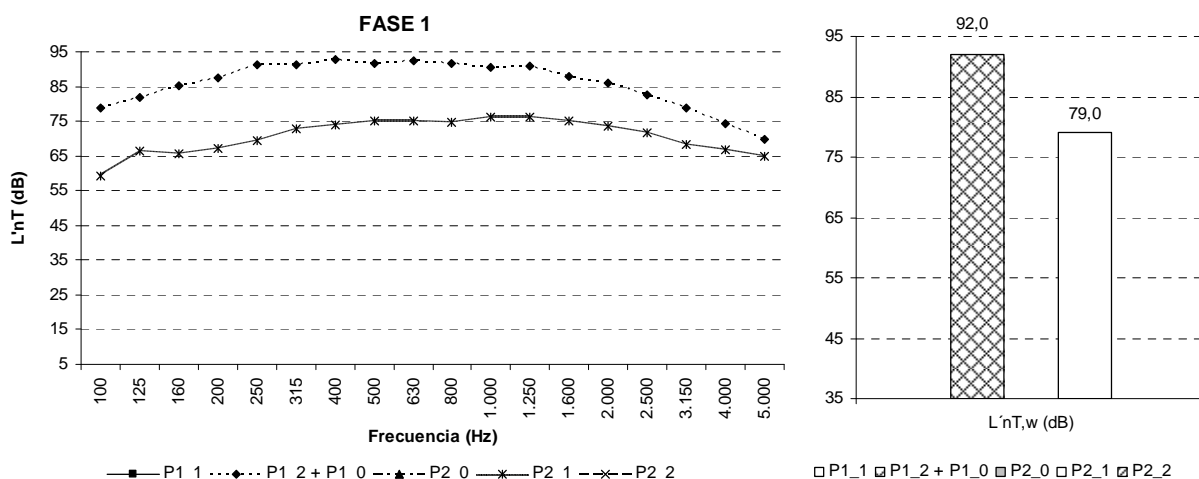


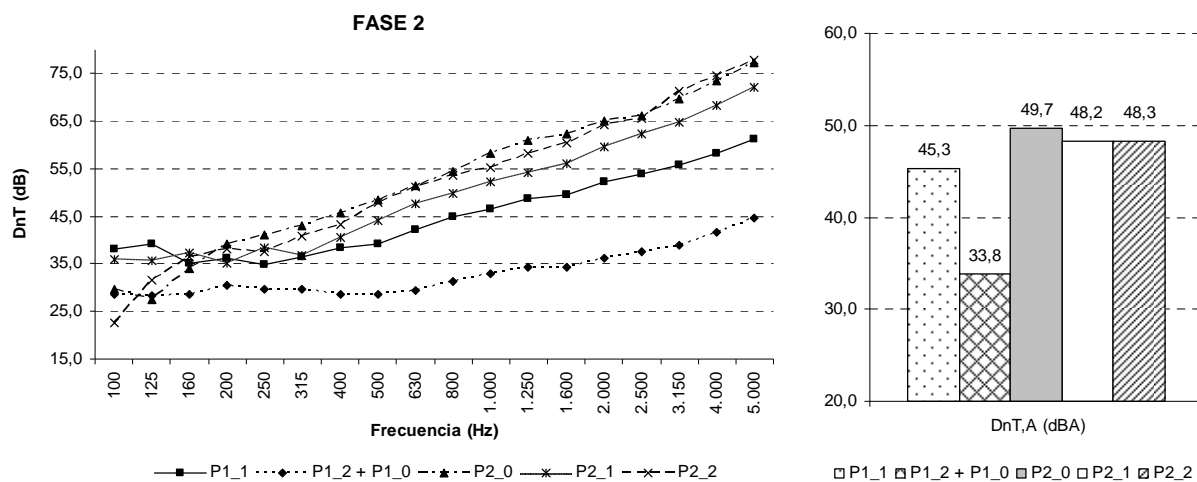
Figura 5. Resultados de aislamiento en la Fase 1.

6.2 Fase 2

A continuación se muestran numérica y gráficamente los resultados obtenidos en la Fase 2:

FASE 2	P1_1 sobre PB_1	P1_2 + P1_0 sobre PB_2	P2_0 sobre P1_2 + P1_0	P2_1 sobre P1_1	P2_2 sobre P1_2 + P1_0
$D_{nT,A}$	45,3 dBA	33,8 dBA	49,7 dBA	48,2 dBA	48,3 dBA
$L'_{nT,w}$	80 dB	90 dB	67 dB	76 dB	72 dB

Aislamiento a ruido aéreo



Aislamiento a ruido de impactos

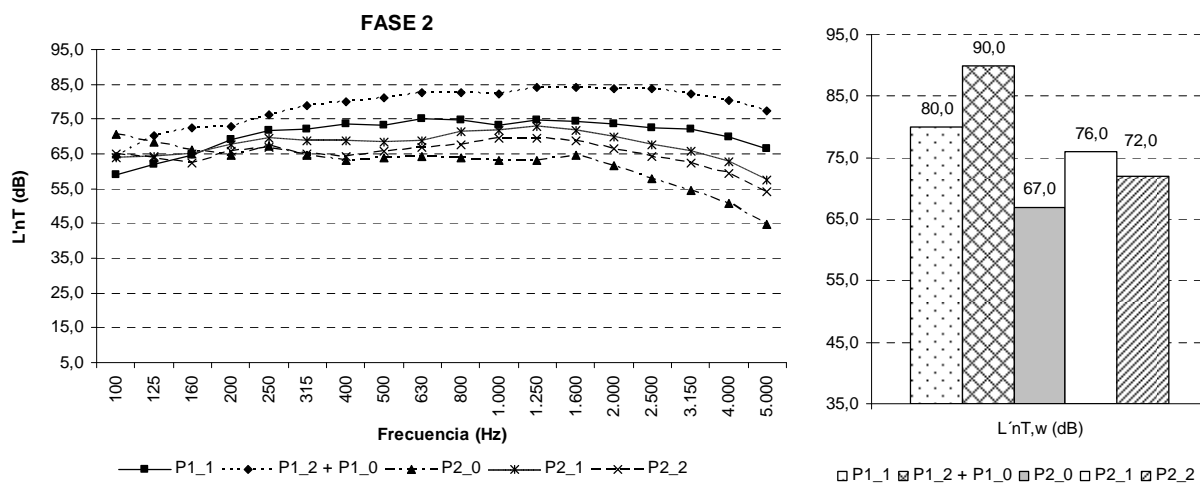


Figura 6. Resultados de aislamiento en la Fase 2.

6.3 Fase 3

A continuación se muestran numérica y gráficamente los resultados obtenidos en la Fase 3:

FASE 3	P1_1 sobre PB_1	P1_2 + P1_0 sobre PB_2	P2_0 sobre P1_2 + P1_0	P2_1 sobre P1_1	P2_2 sobre P1_2 + P1_0
$D_{nT,A}$	55,1 dBA	39,4 dBA	60 dBA	48,1 dBA	56,5 dBA
$L'_{nT,w}$	48 dB	62 dB	≤ 44 dB	56 dB	≤ 45 dB

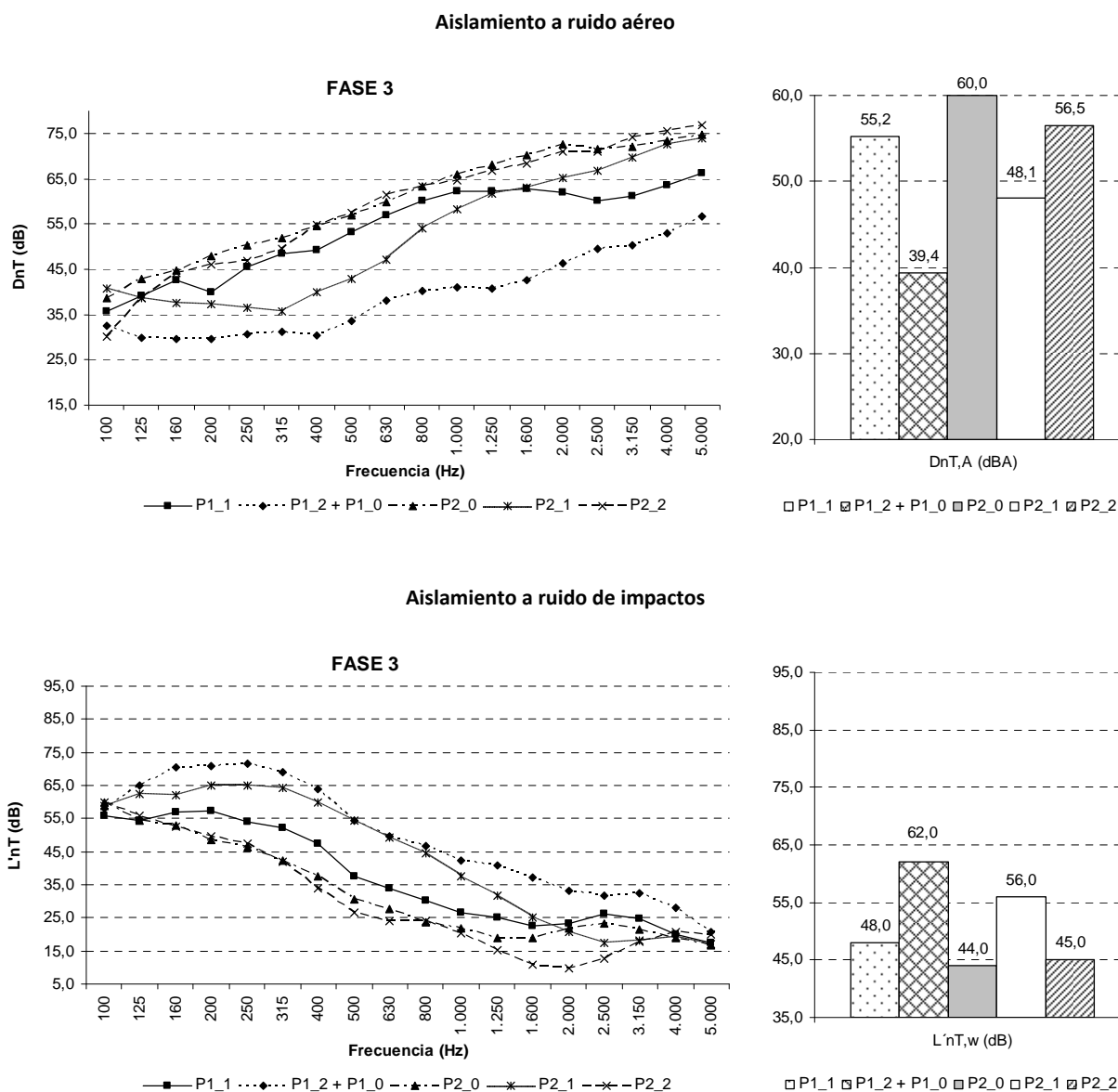


Figura 7. Resultados de aislamiento en la Fase 3.

7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En **Fase 1** tenemos los forjados en su estado inicial o básico e incluso original (sin recrecidos) en algunos casos. En general, los niveles de aislamiento acústico obtenidos son bastante bajos, tal y como cabía esperar, y además variables, con cierta aleatoriedad en los resultados debido a las características intrínsecas del forjado antiguo, con irregularidades y posibles puentes acústicos.

No es posible distinguir un comportamiento acústico específico para las dos tipologías de forjados descritas.

En cuanto a los valores de aislamiento a ruido aéreo de los forjados de tablero de madera parece destacar el nivel de P2_0 sobre el de P1_2; sin embargo, en el caso de P2_0 el acabado por el lado del recinto receptor era un falso techo de escayola que está aportando un aislamiento a ruido aéreo adicional.

Por otra parte, se aprecia como las prestaciones del forjado P1_2 están por debajo de las del resto de los forjados, tanto en las curvas de aislamiento a ruido aéreo como a ruido de impactos. Probablemente estas pérdidas de aislamiento sean debidas a la existencia de algún puente acústico en el propio forjado o alguna falta de sellado y estanquidad. En las fases siguientes se observa una tendencia similar en los resultados de este forjado.

En **Fase 2** tenemos los forjados mixtos hormigón – madera, tras la construcción de una capa de compresión de hormigón con refuerzos sobre los forjados iniciales de la Fase 1.

Se produce un incremento importante en el aislamiento (de 5 a 10dBA) a ruido aéreo según lo esperado ya que el aumento de masa en un sistema constructivo implica una mejora del aislamiento acústico a ruido aéreo. En cambio, este incremento de masa no tiene tanta influencia (aunque sí se aprecia cierta mejora) en las prestaciones del forjado a ruido de impactos. Nuevamente, el forjado P1_2 tiene un comportamiento acústico anómalo frente al resto de forjados.

En **Fase 3** tenemos los forjados terminados, tras la rehabilitación completa, en su estado final. A cada uno de los forjados mixtos con capa de compresión de la fase 2 se le ha añadido un sistema de suelo flotante diferente.

Tras la instalación de los suelos flotantes se aprecia un incremento de aislamiento a ruido aéreo del mismo orden de magnitud que el obtenido en la fase anterior (hasta 10dBA). Se observa cómo los aislamientos obtenidos en alta frecuencia muy altos.

En aislamiento a ruido de impacto en alta frecuencia los niveles de ruido recibidos son muy bajos y en algunas bandas de frecuencia los niveles podrían ser incluso menores que los indicados al quedar las medidas limitadas por el ruido de fondo.

El forjado P1_2 tiene un aislamiento final a ruido aéreo significativamente menor que el del resto de forjados. Sus prestaciones a ruido de impactos, aunque algo mejores, también están por debajo de lo esperado y por debajo de las prestaciones de los demás.

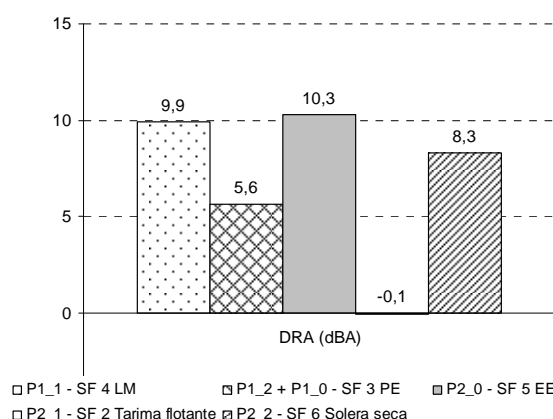
7.1 Fase 3

En general, un suelo flotante aporta ganancia de aislamiento tanto a ruido aéreo como a ruido de impacto, pero su gran aporte es en el aislamiento a ruido de impacto. Las diferentes tipologías de suelo flotante dan diferentes rangos de mejoras de estos aislamientos:

Tabla 2. Mejoras de aislamiento de los suelos flotantes

FASE 3	P1_1 SF 4 - LM	P1_2 + P1_0 SF 3 - PE	P2_0 SF 5 - EEPS	P2_1 SF 2 – Tarima flotante	P2_2 SF 6 – Solera seca
ΔR_A	9,9 dBA	5,6 dBA	10,3 dBA	-0,1 dBA	8,3 dBA
ΔL_w	32,0 dB	28 dB	≥ 23 dB	20 dBA	≥ 31 dB

Mejora de aislamiento a ruido aéreo de los suelos flotantes



Mejora de aislamiento a ruido de impactos de los suelos flotantes

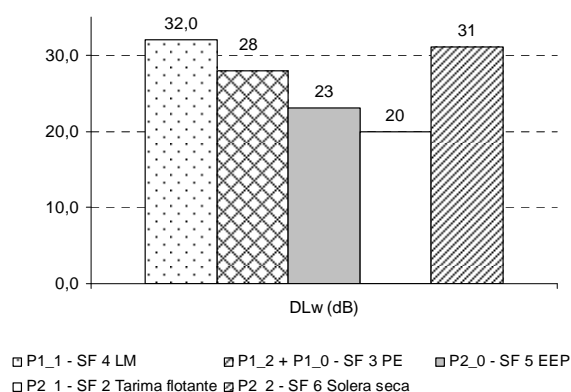


Figura 8. Mejoras de aislamiento de los suelos flotantes.

La mejora de aislamiento a ruido aéreo está entre los 5 a 10dBA, exceptuando el SF2 consistente en una tarima flotante. Éste podría ser un resultado esperable dado que se trata de una tipología de SF consistente en una lámina delgada (3mm) de polietileno y un acabado de madera laminada que no aporta mejora a ruido aéreo, sin embargo, la capa de nivelación de mortero previa debería haber proporcionado alguna mejora.

En relación a la reducción de ruido de impactos debido a los suelos flotantes se han conseguido unos valores muy buenos, de 20 a 32dB. La eficacia contra el ruido de impactos de un suelo flotante dependerá de la tipología de suelo flotante y las características del material aislante que emplee. En este sentido, los suelos flotantes más eficaces han sido el SF4 de mortero sobre lana mineral y SF6 de solera seca, con una reducción del nivel de ruido de impactos de 32 y 31dB respectivamente.

Aún manteniendo un rendimiento muy bueno con respecto al ruido de impactos (20dB), podría haberse esperado más del suelo flotante SF5 de mortero sobre EEPS (5cm) ya que las prestaciones de los suelos flotantes con EEPS (sobre forjados más masivos) suelen estar cercanas a las de los suelos flotantes de lana mineral, que suelen ser los más aislantes, y por encima de los suelos flotantes de polietileno.

8 CONCLUSIONES

El objetivo general de este trabajo consistía en caracterizar las prestaciones acústicas de los forjados de madera en estado de rehabilitación y obtener una serie de primeras conclusiones en relación al comportamiento acústico in situ de los forjados de madera y de los sistemas de suelo flotante instalados sobre éstos. A continuación podríamos tener una idea de las prestaciones acústicas finales que pueden llegar a obtenerse con el objeto de cumplir los niveles de las exigencias de aislamiento acústico establecidas en la normativa actual sobre edificación (DB HR del CTE).

Estos valores deben tomarse como un primer acercamiento al comportamiento acústico in situ de los forjados de madera y se trata además de un muestreo muy limitado, pero, si además queremos extrapolar conclusiones

a casos similares, habría que estudiar la influencia de muchos aspectos como la geometría de los recintos, los espesores reales de las capas de compresión, el comportamiento de diferentes sistemas de conexión, etc.

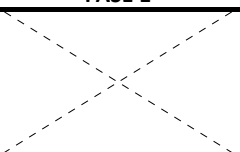
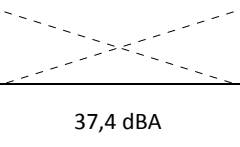
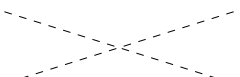
En todo proceso de rehabilitación es necesaria la caracterización acústica de la situación de partida para saber cuán cerca o lejos estamos de los niveles marcados por las exigencias en vigor y qué alternativas de actuación podemos tener.

De la caracterización inicial de los forjados se puede concluir que los resultados obtenidos son bastante deficientes aunque dentro de lo esperable al tratarse de forjados muy básicos y de mucha antigüedad, probablemente con defectos de ejecución y de estanquidad propios de unos tiempos nada acordes con el conocimiento, la concienciación y la demanda de confort acústico que existen a fecha de hoy.

En relación a las prestaciones acústicas finales alcanzadas podemos concluir que se han alcanzados resultados muy satisfactorios llegando a los niveles de cumplimiento de la normativa en casi todos los casos.

A continuación se muestran los resultados de todos los ensayos realizados en este trabajo:

Tabla 3. Resultados de los ensayos de aislamiento por forjados y por fases

RECINTOS			ENSAYOS			
			FASE 1	FASE 2	FASE 3	
Planta 1	P1_1 sobre PB_1 Ensayos 3 – 8	D_{nT,A} L' _{nT,w}		45,3 dBA 80 dB	55,1 dBA 48 dB	SF4 LM
	P1_2 + P1_0 sobre PB_2 Ensayos 5 – 6 – 7	D_{nT,A} L' _{nT,w}	24,1 dBA 92 dB	33,8 dBA 90 dB	39,4 dBA 62 dB	SF3 PE
Planta 2	P2_0 sobre P1_2 + P1_0 Ensayos 9 – 10 – 11	D_{nT,A} L' _{nT,w}		39,5 dBA 67 dB	49,7 dBA 60 dBA	SF5 EEPS
	P2_1 sobre P1_1 Ensayos 4 – 12 – 13	D_{nT,A} L' _{nT,w}	37,4 dBA 79 dB	48,2 dBA 76 dB	48,1 dBA 56 dB	SF2 Tarima
	P2_2 sobre P1_2 + P1_0 Ensayos 14 – 15 – 16	D_{nT,A} L' _{nT,w}		43,4 dBA 72 dB	48,3 dBA 56,5 dBA	SF6 Solera seca

Como conclusión final es importante señalar que existen opciones de afrontar con éxito la rehabilitación en edificios con estructura de forjados de madera considerando los aspectos acústicos y llegar a cumplir los requisitos marcados por el Documento Básico de Protección contra el ruido (DB HR) del Código Técnico de la Edificación.

REFERENCIAS

- [1] Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo (BOE 28 de marzo de 2006). “Código Técnico de la Edificación”. Ministerio de Vivienda;
- [2] Documento Básico HR Protección frente al ruido. Abril 2009.
- [3] Arriaga, F., Peraza, E., Bobadilla, I. y García, F. (2002) Intervención en estructuras de madera. AITIM.
- [4] UNE EN ISO 140-4: 1999 Acústica. Medición de aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 4: Medición in situ del aislamiento a ruido aéreo entre locales;
- [5] UNE EN ISO 140-7: 1999 Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 7: Medición in situ del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos (ISO 140-7: 1998)
- [6] Monjo, J., Maldonado, L. (2001) *Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas*. Munilla-Lería.
- [7] Pardo Ros, J. L. (1997) *Estructuras mixtas de hormigón-madera aplicadas a la rehabilitación de forjados*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.

Retos en Construcción con Madera: Diseño Acústico de Edificación en Altura

Marta Fuente González

Ingeniero Industrial. Acústica en Edificación. División de Construcción Sostenible. Tecnalia

Mariana Pérez Abendaño

Ingeniero Téc. de Telecomunicaciones. Acústica en Edificación. División de Construcción Sostenible. Tecnalia

Palabras clave: CTE DB HR, EN 12354, aislamiento acústico, construcción ligera, construcción con madera, edificación en altura, modelos de predicción, diseño acústico, baja frecuencia, vibraciones.

Resumen

Uno de los principales retos que presenta la construcción con madera colectiva en altura (ya sea en edificios de varios pisos o adosados que comparten estructura) es garantizar un comportamiento acústico que permita cumplir requisitos y además asegurar el confort de los usuarios.

Actualmente no existen Normativas aprobadas que permitan realizar un diseño acústico adecuado mediante cálculos más o menos complejos para predecir en fase de proyecto el comportamiento acústico del edificio.

En este documento se recogen las recomendaciones a tener en cuenta en el diseño acústico de edificios de madera, el estado del arte relativo a los modelos de predicción en los que están trabajando los investigadores y los comités de normalización y los desafíos a día de hoy a los que se enfrenta este tipo de construcción con respecto a su caracterización y optimización desde el punto de vista acústico para el confort del usuario.

1 INTRODUCCIÓN

La madera ha sido un material tradicionalmente empleado en la edificación. Los antiguos sistemas constructivos con madera han ido evolucionando a lo largo de los siglos de forma distinta en función de las condiciones climáticas y sociales de cada zona. Por dicho motivo pueden apreciarse desde sistemas con madera muy simples a sistemas altamente sofisticados y exigentes. En todo caso, en muchos lugares la madera sigue y debe seguir jugando un papel importante en el proceso edificatorio.

Aunque durante muchos años en España ha prevalecido la construcción tradicional pesada, en los últimos años es más habitual encontrarse con proyectos de edificios de madera ya sea a la manera tradicional como también con sistemas más novedosos (sistemas de madera contralaminada CLT, sistemas modulares 3D,...). En otros países es un sistema más habitual: Países Nórdicos, Canadá, EEUU, Nueva Zelanda, etc. Incluso cada vez se realizan más proyectos de edificios de madera de bastantes alturas (UK, Suecia, Alemania, Suiza, Austria, Canadá, USA, etc.) y de construcción modular 3D en madera (Francia, Austria), y se está impulsando de manera bastante intensa la construcción de rascacielos de madera (desde Canadá, USA o Suecia). Este impulso deriva en gran parte por el hecho de que la arquitectura con madera permite construir edificios más sostenibles y amigables con el medio ambiente.

Con respecto a los requisitos acústicos que deben cumplir, cuando hablamos de **construcción en altura** estamos refiriéndonos a edificación colectiva que incluye edificios de varios pisos así como también edificios adosados que comparten estructura, y con diversos usos: residencial público o privado, educacional, oficinas, hospitalario...

El aislamiento acústico constituye uno de los puntos débiles de los sistemas de construcción ligera o prefabricada con soluciones de junta seca (como por ejemplo productos base madera).

Tanto a nivel nacional (Código Técnico de la Edificación Documento Básico de Protección contra el Ruido, CTE DB HR) como a nivel internacional, no se dispone a día de hoy de un modelo de predicción aprobado, validado y recogido en normativa para diseñar acústicamente edificios con soluciones prefabricadas o ligeras en base madera. Como consecuencia, en algunos países Europeos se están denegando proyectos en construcción ligera por no disponer de justificación acústica.

2 LA CONSTRUCCIÓN CON MADERA Y EL CTE DB HR

Los requisitos acústicos reflejados en el Documento Básico de Protección frente al Ruido del Código Técnico de la Edificación (CTE DB HR) son aplicables a los edificios construidos con madera, sin embargo las tablas de la opción simplificada no se aplican a forjados de madera, ni a forjados mixtos de madera y hormigón. Esto no quiere decir que los forjados de madera no cumplan las exigencias del DB HR, sino que no están recogidos en la opción y habría que justificar su empleo por otros medios.

No obstante, la opción simplificada puede utilizarse únicamente para justificar el cumplimiento frente al ruido exterior de sistemas de madera como fachadas, cubiertas (Figura 1) y suelos en contacto con el aire exterior en edificios en los que no haya que cumplir requisitos de aislamiento acústico entre recintos interiores (ej. viviendas unifamiliares).

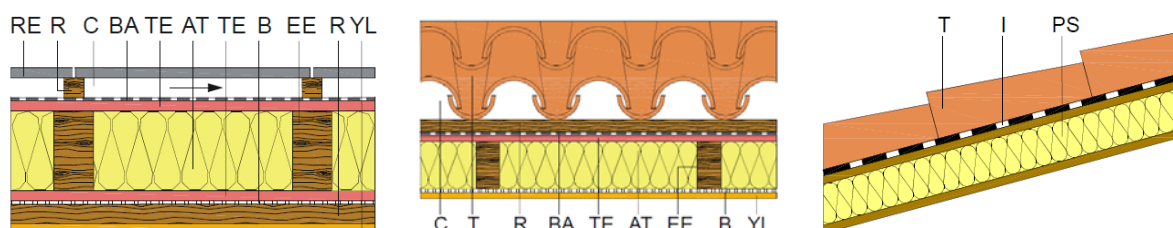


Figura 1. Ejemplos de fachada y cubiertas de madera del Catálogo de Elementos Constructivos [3][2].

La opción general del CTE DB HR contiene un procedimiento de cálculo basado en el modelo simplificado para la transmisión acústica estructural de la Norma UNE EN 12354 partes 1, 2 y 3. También puede utilizarse el modelo detallado que se especifica en esa norma.

Sin embargo, las actuales normas UNE EN 12354 [4][5] no son válidas para el diseño de ciertas construcciones: edificios a base de elementos constructivos ligeros o edificios que combinan elementos ligeros y pesados, donde el amortiguamiento en el sistema presenta gran independencia de las estructuras que lo rodean.

Esto significa que para predecir y por tanto justificar el aislamiento acústico in situ de un **edificio colectivo en altura construido totalmente con madera, o con al menos los forjados de madera, no se puede utilizar la opción simplificada ni las actuales normas EN 12354**. Por ejemplo, no se puede utilizar datos de ensayos en laboratorio de forjados de madera directamente en la justificación del CTE DB HR ya sea en la solución simplificada como en la general.

Los sistemas de construcción ligera pueden presentar diferentes configuraciones: combinaciones de elementos ligeros y pesados, elementos ligeros homogéneos o elementos ligeros compuestos, y las diferentes formas de unión entre elementos. Pero todos ellos presentan unas características comunes que les diferencian de los elementos constructivos más pesados:

- Masa y frecuencia crítica de los elementos.
- Amortiguamiento interno de los elementos (loss factor).

Estas dos características suponen que a la hora de predecir el comportamiento acústico en sistemas ligeros hay que tener en cuenta dos aspectos fundamentales que no están contemplados en las actuales EN 12354:

- Es necesario **distinguir entre transmisión resonante (libre) y forzada**.
- Hay que tratar adecuadamente los **caminos de transmisión indirecta** que se pueden dar en sistemas constructivos multicapa.

3 METODOLOGÍA DE DISEÑO DE EDIFICIOS EN ALTURA DE CONSTRUCCIÓN LIGERA

Para el buen desarrollo de un sistema constructivo desde el punto de vista acústico, se establecen diferentes fases de trabajo:

1. Diseño acústico de cada uno de los elementos del sistema constructivo (paredes, forjados, fachadas...) y su caracterización acústica en laboratorio.
2. Diseño de la solución constructiva completa, del edificio, mediante cálculos predictivos y validación final a través de las mediciones de aislamiento acústico in situ.

En el primer paso, en el caso de no disponer de ensayos en laboratorio de los elementos constructivos a utilizar, para estimar las propiedades acústicas de cada elemento (R_A , L_n , ΔR , ΔL) se realiza un diagnóstico preliminar utilizando modelos de predicción y comparando con otros resultados de ensayos en laboratorio disponibles de sistemas de construcción similares. Una vez optimizados de manera teórica los elementos constructivos (fachada, pared separadora, pared interior, forjado, revestimientos, falso techo...) deben ensayarse en laboratorio (aislamiento a ruido aéreo y de impactos).

Algunos fabricantes de productos de construcción de madera disponen de datos del comportamiento acústico en laboratorio de sus productos que se pueden utilizar en esta fase. También existen algunas bases de datos a nivel internacional (por ejemplo la publicada por Holzforschung Austria [7] Figura 2) que facilitan esta información, aunque hay que tener en cuenta que en la mayoría de los casos son soluciones constructivas adaptadas a los requisitos acústicos (y térmicos) más estrictos de otros países que hacen que sean soluciones sobredimensionadas para el marco normativo español y por tanto más costosas (materiales, espesores y ejecución).

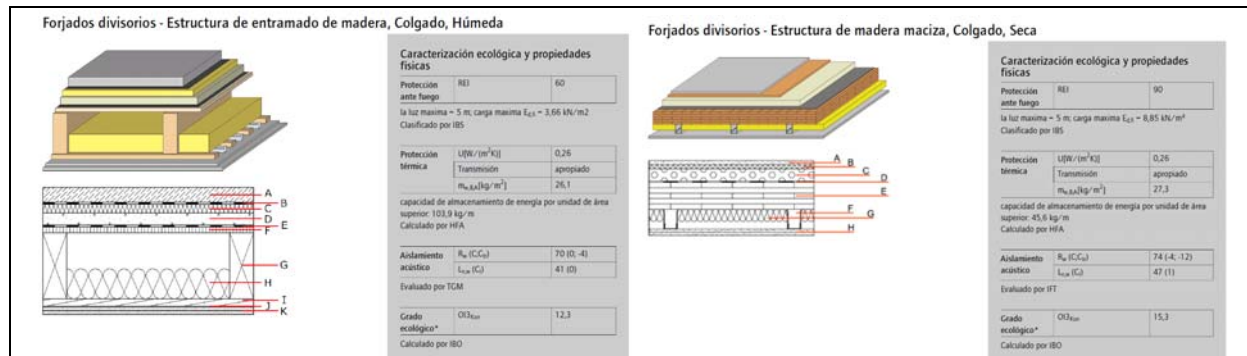


Figura 2. Ejemplos de forjados de madera en base de datos *Dataholtz*.

A la hora de diseñar un edificio en altura de construcción ligera desde el punto de vista acústico se pueden utilizar distintas vías:

- Método de prueba-error.
- Utilizar soluciones constructivas ya validadas in situ.
- Mediante cálculos predictivos.

3.1 Método de prueba y error

Esta metodología consiste en probar una alternativa constructiva y verificar si funciona. Si es así, se tiene una solución. En caso contrario se intenta una alternativa diferente.

En los casos en los que se ha utilizado este método los técnicos implicados se centran en dos objetivos lógicos: por un lado garantizar un aislamiento acústico adecuado de cada elemento constructivo y sobre todo en desconectar lo máximo posible. Por ejemplo, realizan acciones del tipo:

- Utilizar el sistema de caja dentro de caja.
- Utilizar materiales aislantes.
- Colocar bandas elásticas.
- Reforzar los forjados con mortero o suelo radiante, falso techo y suelos flotantes.
- No utilizar forjados continuos entre distintas unidades de uso.
- Etc.

Estas actuaciones que en muchos casos pueden resultar exitosas, suponen un sobrecoste importante que hace que los sistemas ligeros a base de madera diseñados con este método no resulten competitivos frente a los sistemas constructivos tradicionales pesados. El **sobrecoste** deriva principalmente de que:

- El sistema constructivo resultante en la mayoría de los casos no está optimizado, ya que para asegurar el cumplimiento se sobredimensiona.
- No siempre es seguro un resultado positivo de manera que en caso de incumplimiento implica desmontar y volver a montar el sistema.
- Es necesario realizar ensayos acústicos in situ para la solución final, y en su caso, las soluciones intermedias.

Además el sistema constructivo diseñado de esta manera no garantiza que se pueda reproducir en otro tipo de edificio manteniendo el cumplimiento de los requisitos acústicos, ya que intervienen otras variables como geometría, detalles constructivos, etc.

3.2 Utilizar soluciones constructivas ya validadas in situ

Aunque en España la construcción con madera en altura no resulta muy habitual, en otros países se utiliza de manera más frecuente y además cumpliendo requisitos acústicos más exigentes que los españoles.

Algunos fabricantes, arquitectos, ingenierías y expertos en acústica han diseñado soluciones constructivas que cumplen los requisitos aplicables en el país correspondiente. Un ejemplo de soluciones aplicables disponibles son los *Robust Details* de Inglaterra y Gales [6], en los que se contemplan algunos casos de forjados de madera (Figura 3).

En todos estos casos hay que tener en cuenta que las soluciones constructivas definidas son más robustas que las que se necesitarían en España ya que los requisitos son más elevados en otros países, de manera que resultan más costosas y no competitivas con soluciones tradicionales.

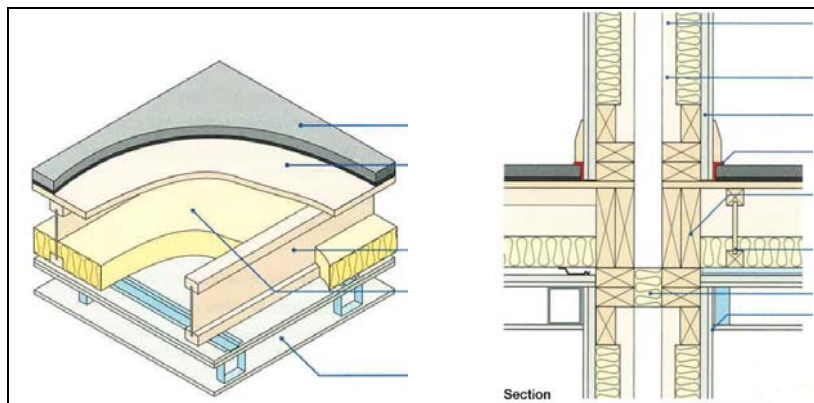


Figura 3. Ejemplos de detalles de un forjado de madera en *Robust Details*.

3.3 Mediante cálculos predictivos

Existen diferentes métodos para estimar el comportamiento global de un edificio a partir de las características individuales de cada uno de sus componentes, aunque en la práctica el método que ha demostrado mayor precisión es el basado en el Análisis Estadístico de Energía (S.E.A.), del cual las normas EN 12354 son una simplificación adaptada a las soluciones constructivas europeas.

Las teorías de Análisis Estadístico de Energía (S.E.A.) se basan en las ecuaciones de equilibrio de energía aplicadas a un sistema físico (en este caso un edificio o parte de él) en estado estacionario. Además de la dificultad del método S.E.A., debido a la complejidad de los edificios actuales, resulta a menudo inevitable tener que realizar mediciones de parámetros para incluir en el método de cálculo.

Métodos de cálculo como el S.E.A. o la modelización mediante elementos finitos FEM, están más impuestos en los grupos de investigación acústica y arquitectónica, sin embargo desde estos mismos ámbitos se considera que la aproximación de las EN 12354 puede proporcionar un método práctico a un nivel de ingeniería aplicable también para la construcción ligera.

En el grupo de trabajo del Comité Europeo de Normativa CEN/TC126/WG2 “*Prediction of the acoustic performance of buildings from the performance of elements*” se están estudiando las propuestas planteadas desde distintos grupos de investigación para adaptar y corregir las normas EN 12354 que permita su aplicación para edificios de construcción ligera. A continuación se resume el enfoque posible que se está tratando en dicho grupo para los puntos más importantes a modificar.

3.3.1 Bases del modelo EN 12354

Se mantienen los principios generales del modelo de cálculo de las EN 12354, es decir, la potencia acústica en el recinto receptor es debida al sonido radiado por los elementos separadores estructurales y los elementos estructurales de flancos en ese recinto y por la transmisión acústica aérea directa e indirecta correspondiente.

Por ejemplo, el índice de reducción acústica aparente en obra R' se calcula de forma general mediante la expresión (1).

$$R' = -10 \lg \tau' \text{ dB} \quad (1)$$

Siendo

τ' factor de transmisión total de potencia acústica, definido como el cociente entre la potencia acústica total radiada al recinto receptor y la potencia acústica incidente sobre la parte compartida del elemento de separación, para los distintos caminos directos e indirectos (de flancos) que se indican en la Figura 4.

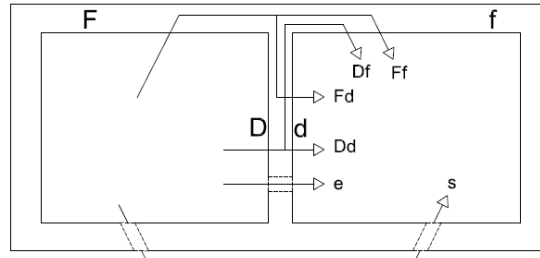


Figura 4. Definición de los caminos de transmisión acústica ij entre dos recintos.

Hasta ahora, sólo se han considerado elementos individuales más o menos homogéneos, no sólo pesados, sino también ligeros. Ahora este enfoque debe ser ampliado con las posibilidades y aspectos adicionales presentes en sistemas constructivos multicapa. En este caso se requiere una atención especial respecto a qué elemento se ha de considerar en las predicciones: el elemento doble en su conjunto o sólo la hoja interior, simple o de múltiples capas. En principio ambas opciones son posibles si se combina con el factor de atenuación de la junta (K_{ij} o D_{vij}) apropiado, que será muy diferente en cada caso. La elección dependerá en gran medida del tipo de datos de entrada disponibles:

- Considerando el elemento doble en su conjunto se abre la posibilidad de aplicar datos obtenidos mediante medidas del índice de reducción acústica R , pero las mediciones de atenuaciones de la junta tienen que ajustarse a esta elección.
- Si se considera principalmente la hoja interior, las mediciones de atenuaciones de la junta resultan más sencillas, pero no suele haber datos del índice de reducción acústica R correspondiente.

3.3.2 Índice de reducción acústica R para la transmisión resonante

Uno de grandes novedades a tener en cuenta en elementos ligeros es la necesidad de considerar sólo la transmisión resonante en los caminos indirectos y por tanto la necesidad de conocer el índice de reducción acústica R del elemento sólo para la transmisión resonante. Simultáneamente esto significa que, para la transmisión correspondiente a través de la junta, la atenuación de la junta será también sólo para la transmisión resonante y por tanto obtenida mediante excitación mecánica.

La transmisión resonante domina cuando la frecuencia es mayor que la frecuencia crítica y se transmite tanto por el camino directo como por los flancos. La transmisión forzada domina cuando la frecuencia es menor que la frecuencia crítica y se transmite sólo por el camino directo.

En los sistemas ligeros como la frecuencia crítica es mucho mayor que la menor frecuencia de interés, para predecir el comportamiento in situ, es necesario realizar una corrección en los datos de aislamiento medido en laboratorio para la estimación de la transmisión por flancos, y considerar el aislamiento sólo para la transmisión resonante.

El valor del índice de reducción sonora R se puede obtener mediante cálculos o midiendo en laboratorio de acuerdo con la norma ISO 10140.

En el caso de utilizar un R calculado este deberá referirse sólo a la transmisión resonante. Para el caso de elementos homogéneos el anexo B de la norma EN 12354-1, recoge una ecuación, que recientes investigaciones indican que necesita algún pequeño ajuste. Para los elementos más complejos se podrían utilizar otros modelos, basados en SEA. Se debe tener cuidado de que usando modelos comerciales disponibles puede no ser posible eliminar la transmisión forzada. Sin embargo, investigaciones recientes han indicado que es prácticamente imposible obtener predicciones fiables para la transmisión resonante hasta la fecha [10], ya

sea debido a estimaciones insuficientes de las eficiencias de radiación y/o de la amortiguación real en los elementos ligeros. Por lo tanto, este método no se recomienda para los elementos (muy) ligeros.

Si utilizamos datos de entrada medidos en laboratorio, R_{lab} , necesitamos no sólo el índice de reducción acústica, sino también la eficiencia de radiación medida con excitación aérea y estructural. La corrección viene definida por la ecuación (2).

$$R^* \approx R - 10 \log \left[\frac{\sigma_s}{\sigma_a} \frac{1 - \sigma_a}{1 - \sigma_s} \right] \approx R - 10 \log \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_a} \right) \quad (2)$$

El término de corrección se puede obtener mediante medidas de eficiencia de radiación (Figura 5) o través de formulaciones.

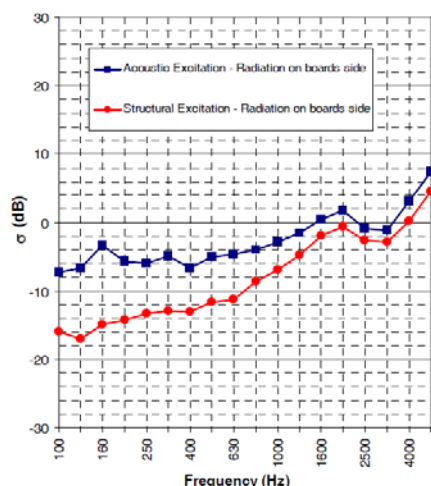


Figura 5. Eficiencia de radiación medida para excitación aérea y estructural; ej. forjado base de madera [12].

El método simplificado para elementos ligeros propuesto por COST FP0702 [9] considera los siguientes valores de corrección obtenidos a partir de mediciones de distintos grupos de investigación:

- Elementos sencillos:
 - 10 dB por debajo de la frecuencia crítica.
 - 0 dB por encima de la frecuencia crítica.
- Elementos dobles: sin corrección.

3.3.3 Transmisión por flancos

Los elementos en los sistemas de construcción ligeros normalmente tienen una amortiguación más grande y los niveles de vibración están menos afectados por las pérdidas de energía en los bordes. Además, con elementos ligeros el índice de reducción acústica en laboratorio también está determinado principalmente por la amortiguación interna. Eso significa que los resultados de la medición de la transmisión por flancos, D_{nf} o L_{nf} , en un prototipo o in situ, con unas dimensiones razonables, darán resultados que se pueden transferir fácilmente a otras situaciones y dimensiones.

$$R_{ij} = D_{nf} + 10 \log \frac{S_{ij,lab}}{A_0 I_{ij}}; \quad L_{n,ij} = L_{nf} - 10 \log \frac{S_{ij,lab}}{A_0 I_{ij}} \quad (3)$$

Estos valores se pueden obtener midiendo directamente en una instalación adecuada según indica la ISO 10848 [6]. Estas mediciones se refieren sólo al camino Ff (Figura 4). Aunque parece que en muchos edificios ligeros el camino Ff es el camino indirecto dominante, se han visto combinaciones de elementos y uniones donde otros caminos, como Fd o Df, tienen una contribución considerable, por lo tanto no deben ser descartados desde el principio. Sin embargo la medida de D_{nf} o L_{nf} presenta un problema práctico: el elemento de separación también debe ser representativo para la junta estudiada y debe reducir la transmisión por el resto de caminos mediante recubrimientos. A veces puede resultar muy complicado apantallar adecuadamente los flancos, y por tanto este método se considera laborioso. Para poder realizar estas medidas es necesario disponer de instalaciones adecuadas, como por ejemplo las que tienen NRC (Canadá), EMPA (Suiza) o BBRI (Bélgica). Ver Figura 6.

$$D_{nf} = L_s - L_r - 10 \lg \frac{A}{A_0}; \quad L_{nf} = L_r + 10 \lg \frac{A}{A_0} \quad (4)$$



Figura 6. Instalaciones del NRC (izquierda) y EMPA (derecha) para la medida de transmisiones por flancos.

La transmisión por flancos también puede estimarse a partir de una combinación de los datos medidos y calculados según indican las ecuaciones (5), (6) y (7).

$$D_{nf} = \frac{R_i^* + R_j^*}{2} + \Delta R_i + \Delta R_j + \overline{D_{v,ij,n}} + 10 \lg \frac{A_0}{l_{ij,lab}} \quad (5)$$

$$L_{nf} = L_{n,ii} + \frac{(R_i^* - R_j^*)}{2} - \Delta L_i - \Delta R_j - \overline{D_{v,ij,n}} - 10 \lg \frac{S_{i,lab}}{l_{ij,lab}} \quad (6)$$

$$\overline{D_{v,ij,n}} = \frac{D_{v,ij} + D_{v,ji}}{2} + 10 \cdot \log \frac{l_{ij}}{\sqrt{S_{m,i} S_{m,j}}} \quad (7)$$

Donde R_i^* and R_j^* son los índices de reducción sonora, referidos solo a la transmisión resonante, de los elementos considerados, $D_{v,ij}$ es diferencia de nivel de vibración entre los elementos i y j , cuando el elemento i es excitado mecánicamente, l_{ij} es la longitud común de la unión entre los elementos i y j , $S_{m,i}$ y $S_{m,j}$ son las áreas de medida, iguales o menores que las áreas de los elementos, y $L_{n,i}$ es el nivel sonoro a ruido de impactos normalizado del elemento i .

Las medidas de $D_{v,ij}$ (Figura 7) se pueden realizar in situ o en una instalación experimental ad hoc, como las que se muestran en la Figura 8.

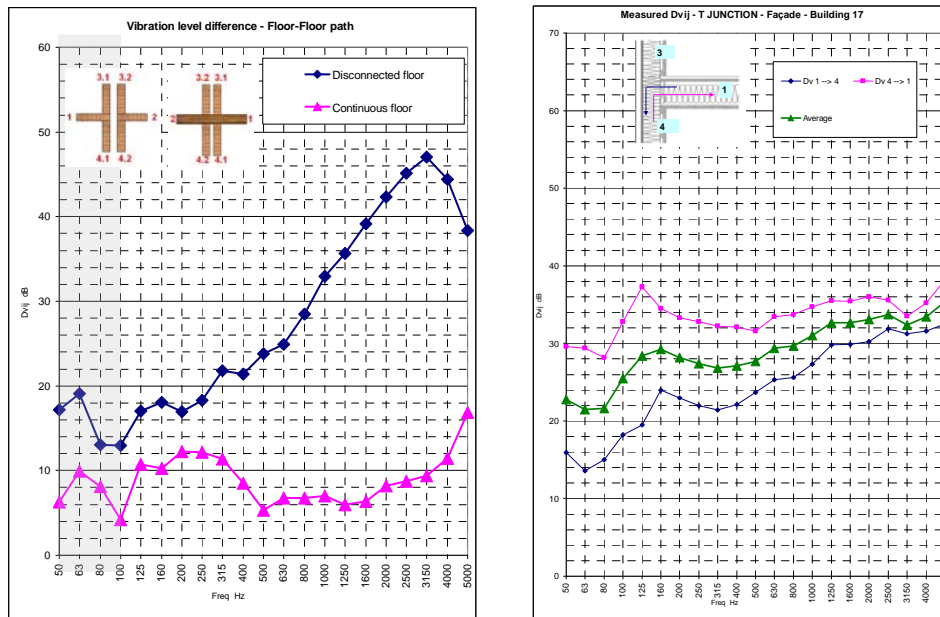


Figura 7. Ejemplos de resultados de medidas de juntas en sistemas ligeros [13][14].



Figura 8. Ejemplos de instalaciones experimentales ad hoc para medir $D_{v,ij}$.

Aunque gracias a diversas investigaciones a nivel internacional realizadas por industriales, centros de investigación y universidades existen cada más datos relativos al comportamiento acústico de los sistemas ligeros, dada la multitud de sistemas posibles (gran variedad de elementos constructivos y múltiples formas de unión), desde esos foros se constata que faltan datos (principalmente aislamiento acústico en laboratorio, eficiencia de radiación y transmisión por juntas) que ayuden a:

- Proponer metodologías generales aplicables a sistemas ligeros.
- Proponer estimaciones empíricas de atenuación de juntas (como los K_{ij} de los anexos de las EN 12354) para ciertos tipos de uniones que permitan poder realizar cálculos de una manera más sencilla sin tener que realizar mediciones de $D_{v,ij}$.

Sin embargo a pesar de que la nueva EN 12354 aún no esté en vigor los expertos acústicos con experiencia en estas metodologías pueden hacer diseños de soluciones ligeras optimizadas y con resultados fiables.

4 OTROS ASPECTOS DE CONFORT: BAJA FRECUENCIA Y VIBRACIONES A LOS PASOS

En la mayoría de los países europeos, los requisitos acústicos se han desarrollado sobre la base de las propiedades de las construcciones pesadas tradicionales. Los requisitos en la mayoría de los países se basan en evaluaciones del comportamiento acústico por encima de 100 Hz. Aunque hay una creciente necesidad de analizar el comportamiento del edificio por debajo de 100 Hz, incluso para edificios pesados tradicionales, esto resulta una necesidad absoluta para edificios de construcción ligera. Para estos últimos es mucho más difícil obtener un comportamiento acústico comparable al de la construcción pesada por debajo de 100 Hz. El comportamiento acústico de construcciones ligeras en bajas frecuencias se determina por las leyes acústicas para 'construcciones de pared doble', caracterizadas por las resonancias de masa-muelle-masa y el comportamiento modal por debajo de 100 Hz, causando importantes caídas en el aislamiento acústico en este rango de frecuencia.

Aunque estas resonancias pueden ocurrir también en construcciones pesadas (debido a los revestimientos, suelos flotantes...), en esos casos es un problema mucho menor. Teniendo en cuenta las dificultades de reproducibilidad de medición en las bandas de frecuencia por debajo de 125 Hz, la mayoría de los países europeos con tradición en construcción pesada (con la excepción de Suecia) optaron en el pasado para los requisitos que no tienen en cuenta el comportamiento por debajo de 100 Hz, aunque esto sigue siendo muy perceptible para los usuarios. Esto resulta perjudicial para los habitantes de construcciones ligeras: aunque el edificio ligero cumple con los requisitos acústicos, no existe garantía de tener un confort acústico equivalente al de los edificios pesados que cumplen los mismos requisitos. Por tanto para considerar un sistema de construcción ligera 'bueno' desde el punto de vista acústico no sólo tiene que cumplir los requisitos acústicos, también debe ser una construcción que ofrezca al menos la misma percepción de calidad acústica que la de construcciones pesadas acústicamente bien diseñados.

Los principales retos en construcción ligera resultan ser un aislamiento a ruido de impactos adecuado y la materialización de satisfacer el confort frente a las vibraciones. La gente a menudo se queja de zumbidos o del sonido casi ensordecedor de alguien caminando en el piso de arriba. También se quejan de poder escuchar hacia dónde alguien está caminando. Algunas investigaciones muestran que para explicar todo esto y obtener una descripción real del confort acústico la evaluación debe ir por debajo de 50 Hz.

Pero también hay noticias positivas: si el sistema constructivo ligero presenta un confort similar a las construcciones pesadas en las bandas de baja frecuencia, entonces generalmente estos sistemas ofrecen mucho mejor confort que estas en las frecuencias medias y altas.

De todas formas hay que tener en cuenta que la percepción es un aspecto subjetivo que está influida por muchos componentes: culturales, sociales, edad, estado de salud, etc. Aún falta realizar más estudios que muestren mejor la correlación entre valores objetivos (medidos) y percepción subjetiva de la molestia por parte del usuario.

4.1 Aislamiento acústico en baja frecuencia

Hasta ahora los procedimientos para medir in situ el aislamiento acústico entre recintos se describen en Normas de la serie ISO 140. Sin embargo, estas normas están destinadas para su uso en recintos con campos sonoros cercanos al campo difuso. En la práctica, muchas viviendas contienen habitaciones con volúmenes inferiores a 25m³, donde la ausencia de un campo sonoro difuso a bajas frecuencias combinado con el muestreo de la presión sonora en la zona central de la habitación hace que las mediciones sean menos fiables y menos adecuadas a la percepción de los ocupantes del edificio.

Partiendo de que el aislamiento acústico en baja frecuencia (especialmente por debajo de 100 Hz) es importante en todos los edificios, pero sobre todo en edificios de construcción ligera, desde distintos grupos de trabajo internacionales se han impulsado las propuestas de cambios del procedimiento de medida in situ que mejore su fiabilidad y adecuación. Esto se ha traducido en una revisión de las cuatro Normas internacionales de ensayo de aislamiento acústico in situ (ISO 140 partes 4, 5, 7 y 14).

La primera nueva norma ISO 16283-1 (2014) está aprobada y sustituye a la ISO 140-4. En la Norma ISO 16283-1 se describen dos procedimientos para medir el aislamiento a ruido aéreo in situ: un procedimiento predeterminado y un procedimiento adicional para baja frecuencia (bandas de 50, 63, 80 Hz). El nuevo procedimiento de baja frecuencia requiere mediciones adicionales del nivel de presión sonora en las esquinas del recinto emisor y/o receptor (Figura 9) y medir tiempo de reverberación en la banda de octava de 63 Hz.



Figura 9. Medidas adicionales en las esquinas de los recintos con la Norma ISO 16283.

En cuanto al aislamiento a ruido de impactos la máquina de impactos normalizada no es muy representativa para el aislamiento acústico a ruido de impactos de forjados frente a algunos tipos de ruidos que resultan ser los que más quejas ocasionan en sistemas ligeros (por ejemplo, los niños corriendo y saltando, los adultos haciendo gimnasia, ruido de pisadas...). Este tipo de excitaciones en forjados de madera tienden a dar lugar a mayores niveles de presión sonora de ruido de impactos que en los forjados pesados. Existen fuentes alternativas a la máquina de impactos normalizada mejor correlacionadas con la subjetividad de los usuarios respecto a las bajas frecuencias: pelota de caucho (conocida como bola japonesa, Figura 10.A) o máquina de martillos modificada (Figura 10.B).

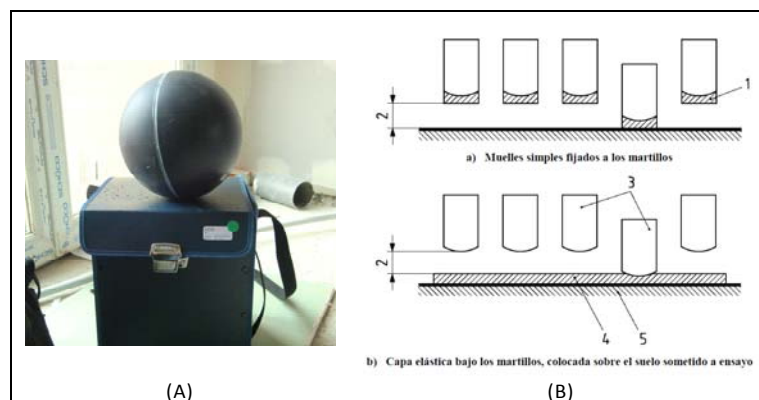


Figura 10. Fuentes alternativas de excitación para el aislamiento a ruido de impactos.

4.2 Vibraciones a los pasos

En general, el comportamiento de servicio vibracional de los edificios se ha convertido en un asunto importante en Europa, y es aún más relevante para los edificios de construcción en madera debido a sus frecuencias naturales de resonancia y la baja masa de los elementos constructivos.

Hasta ahora se ha prestado bastante atención a las bajas frecuencias que van desde 25 Hz a 100 Hz donde los edificios de construcción ligera de madera parecen comportarse peor que los edificios de construcción pesada. Pero hay que tener en cuenta que las vibraciones estructurales de los sistemas de forjados de madera debidas a las actividades humanas producen respuestas en baja frecuencia en el rango de 1-50 Hz que puede causar molestia significativa y afectar la comodidad de los ocupantes.

Actualmente en España no existen requisitos normativos al respecto, pero sí que resulta un requisito de confort por el que los propietarios y usuarios finales con frecuencia presentan quejas y empieza a ser una demanda más habitual para estos sistemas novedosos. Por ejemplo en colegios cuando los niños salen corriendo de las clases, vibraciones de los pasos por las zonas comunes de los edificios, etc.

Por tanto es importante la evaluación del confort del comportamiento en baja frecuencia de los forjados ligeros con respecto a las vibraciones inducidas por los pasos, ya sea en el mismo forjado sobre el que se camina y/o en el del vecino. Sin embargo, aún no está del todo claro o acordado cuál es el mejor descriptor para la evaluación subjetiva de estas vibraciones.

Para el forjado "propio" el enfoque que parece el mejor, por el momento, es el que debe predecir la frecuencia fundamental f_r y la flecha w . Además, la amortiguación debe considerarse como un factor importante así como la respuesta, por ejemplo el valor efectivo de la velocidad V_{rms} (Eurocódigo 5 [15]) o el valor efectivo de la velocidad de un paso representativo que incluya la intensidad del 90% de los pasos de personas andando normalmente $OS-RMS_{90}$ [16] (Figura 11). Estos dos últimos descriptores son los únicos que también se puede aplicar para los forjados vecinos.

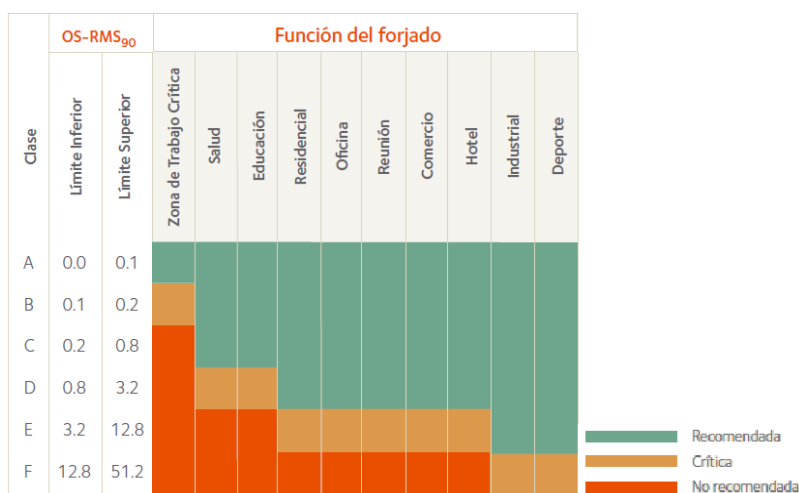


Figura 11. Clasificación de la respuesta del forjado y recomendaciones para la aplicación de clases.

Para la predicción de f_r y w parece que el enfoque Eurocódigo 5 es el adecuado, aunque existen algunas propuestas de mejora actualmente a debate.

Respecto a la respuesta en el propio forjado y en el del vecino no se ha encontrado un método analítico simplificado adecuado y por tanto es necesario utilizar un Modelo de Elementos Finitos (FEM). Sin embargo, debido a la complejidad de los forjados ligeros y las uniones, la modelización no es evidente por sí misma, aunque existen algunas propuestas para crear modelos FEM simplificados pero reproducibles que representen de forma fiable los forjados ligeros y las uniones.

5 CONCLUSIONES

En el diseño de edificios colectivos en altura contruidos totalmente con madera, o con al menos los forjados de madera, hay que tener en cuenta:

- Los sistemas constructivos de madera combinados adecuadamente con recubrimientos y ejecutados con un buen diseño de juntas son óptimos para cumplir los requisitos actuales acústicos. Aunque aún no esté en vigor una adaptación de las EN 12354 para construcción ligera, existen grupos de trabajo con experiencia capaces de resolver el diseño acústico de estos edificios de una manera optimizada a los requisitos aplicables o incluso con estándares de confort más exigentes.
- Es importante optimizar el sistema constructivo para ser competitivo con los sistemas constructivos tradicionales pesados. Existen datos a nivel internacional de soluciones constructivas de madera, pero

no optimizadas para los requisitos en España, ya que están diseñadas para cumplir exigencias acústicas (y térmicas) más estrictas que las españolas.

- Para predecir y por tanto justificar el aislamiento acústico in situ no se pueden aplicar la opción de cálculo simplificada o general del CTE DB HR ni las actuales normas EN 12354.
- Existen propuestas de modelos simplificados (basados en las Normas EN 12354) que se están mostrando como válidos en las últimas investigaciones.
- Hay que tener en cuenta en el diseño del sistema los aspectos relacionados con baja frecuencia y vibraciones.

Los principales retos que se plantea este tipo de construcción son:

- Existen algunos datos del comportamiento acústico de sistemas constructivos ligeros pero aún falta más información que ayude a los proyectistas a diseñar el edificio: aislamiento acústico en laboratorio, eficiencia de radiación, transmisión por juntas.
- Es necesario realizar más investigación sobre el comportamiento en baja frecuencia (principalmente aislamiento a ruido de impactos) y las vibraciones de estos sistemas y su relación con el confort del usuario.

REFERENCIAS

- [1]. Documento Básico DB HR Protección frente al ruido (2009).
- [2]. Guía de aplicación del CTE DB HR (2009).
- [3]. Catálogo de Elementos Constructivos del CTE (v. 2.1).
- [4]. UNE EN 12354-1: 2000 Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 1: Aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos.
- [5]. UNE EN 12354-2: 2001. Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 2: Aislamiento acústico a ruido de impactos entre recintos.
- [6]. ISO 10848-1 Acoustics. Laboratory measurement of the flanking transmission of airborne and impact sound between adjoining rooms. Part 1: Frame document. 2006.
- [7]. www.dataholtz.com
- [8]. Robust Details. Part E. Resistance to the passage of sound.
- [9]. Cost Action FP0702 *Net-Acoustics for Timber based Lightweight Buildings and Elements*.
- [10]. Mahn, J. and J. Pearse, J.. *The calculation of the resonant sound reduction index for use in EN12354*, Euronoise 2012, Prague, Czech Republic, 10-13 June 2012, 168-173.
- [11]. Gerretsen, Eddy, Some aspects to improve sound insulation prediction models for lightweight elements, Internoise 2007, Istanbul, 2007.
- [12]. Villot, Michel, Guigou-Carter, Catherine, Prediction method adapted to lightweight constructions and related laboratory characterizations, Forum Acusticum 2005, Budapest.
- [13]. Pérez, Mariana; Fuente, Marta. Acoustic design through predictive methods in Cross Laminated Timber (CLT) panel structures for buildings, Internoise 2013, Innsbruck, 2013.
- [14]. M. Perez Abendaño, M. Fuente, C. Guigou-Carter. Predicting and measuring the acoustic performances of lightweight based buildings. Acoustics 2012 Nantes Conference.

[15]. Eurocódigo 5: Diseño de Estructuras de Madera (EN 1995-1-1:2004).

[16]. SBR richtlijn, *Trillingen van vloeren door lopen – Richtlijn voor het voorspellen, meten en beoordelen*, 2005.

Ejemplo de caracterización acústica de estructuras de madera en vivienda unifamiliar adosada

Belén Casla Herguedas

Ingeniero T. Agrícola. Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción. CSIC

Amelia Romero Fernández

Ingeniero de Telecomunicación. Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción. CSIC

Teresa Carrascal García

Arquitecto. Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción. CSIC

Palabras clave: acústica, madera.

Resumen

La siguiente comunicación muestra el estudio acústico realizado en dos viviendas adosadas de nueva construcción, construidas con estructura de madera, situadas en Sopelana (Vizcaya).

Se realizaron ensayos normalizados de aislamiento acústico a ruido aéreo y a ruido de impactos de los elementos de separación vertical y horizontal, así como ensayo de aislamiento acústico de la fachada.

En el caso del forjado los ensayos se realizaron en diferentes fases de su proceso constructivo para determinar la evolución de sus prestaciones acústicas.

1 INTRODUCCIÓN

Las estructuras de madera en obra nueva son atípicas en España. Existe un gran desconocimiento de sus prestaciones acústicas en nuestro país, de hecho, la opción simplificada del Documento Básico DB HR protección frente al ruido no es aplicable a estructuras de madera; tampoco existe ninguna publicación de referencia que explique cómo justificar el cumplimiento de los requisitos acústicos, lo que puede llegar a ser una barrera técnica para arquitectos y proyectistas que se enfrenten a un proyecto de obra nueva con estructura de madera.

La siguiente comunicación muestra el estudio acústico realizado en dos viviendas adosadas de nueva construcción, construidas con estructura de madera, situadas en Sopelana (Vizcaya). Se realizaron ensayos normalizados de aislamiento acústico a ruido aéreo y a ruido de impactos de los elementos de separación verticales y horizontales, así como un ensayo de aislamiento acústico de la fachada.

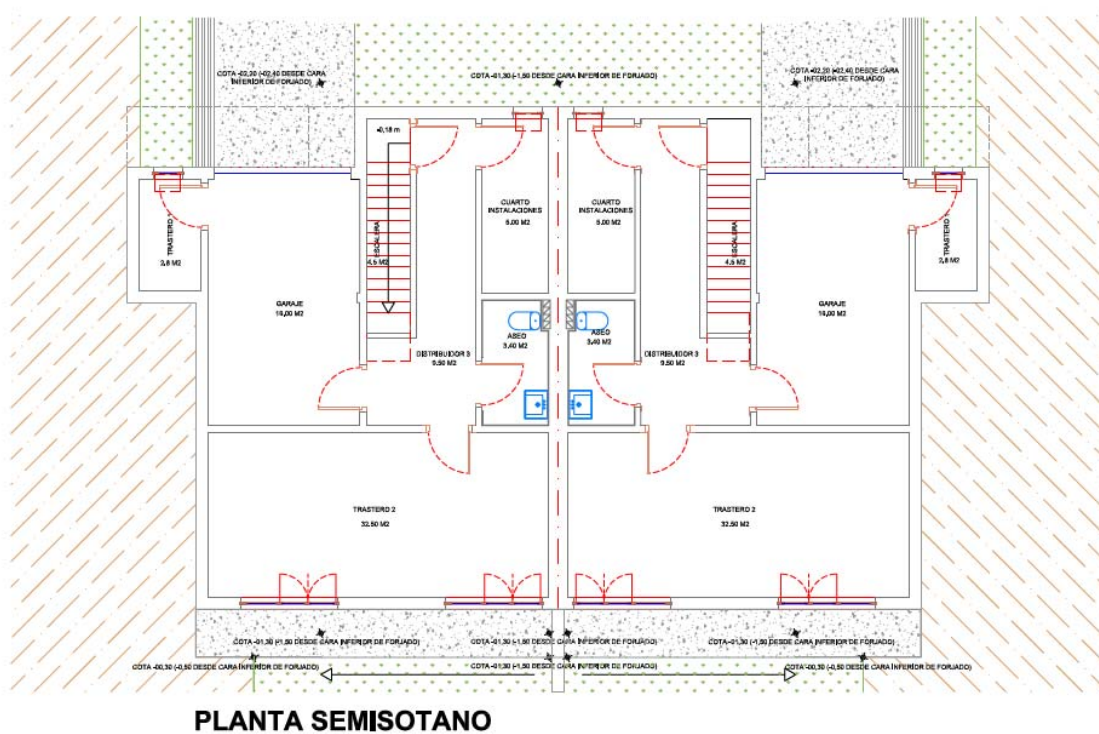
En el caso del forjado los ensayos se realizaron en diferentes fases de su proceso constructivo para determinar la evolución de sus prestaciones acústicas.

2 SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

El estudio de aislamiento acústico se ha llevado a cabo en dos viviendas unifamiliares adosadas de estructura de madera.

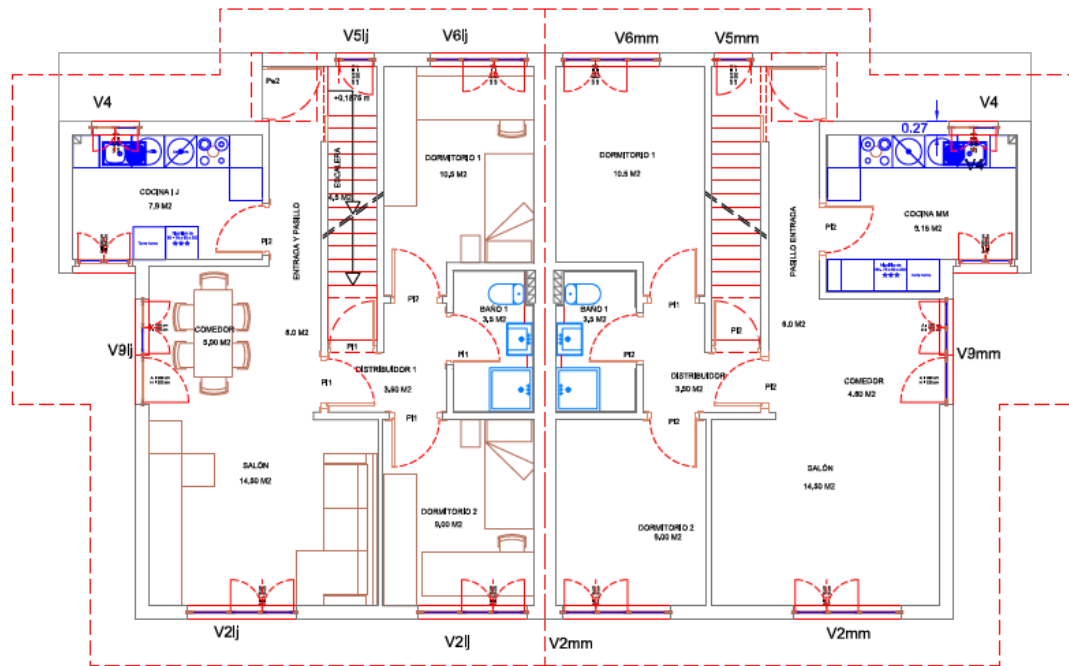
Cada una de las viviendas está formada por un semisótano, una planta baja y una planta primera de acuerdo con los planos que se muestran a continuación.

En cada una de las viviendas, la planta semisótano está compuesta por garaje, dos trasteros, un aseo y un cuarto de instalaciones.



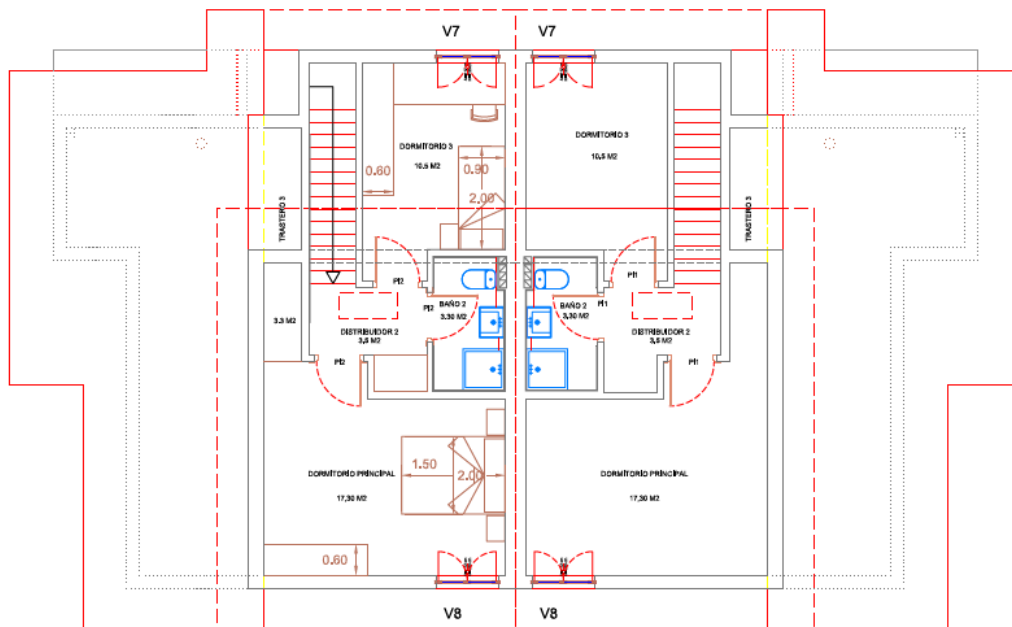
La planta baja de cada una de las viviendas consta de cocina, salón comedor, dos dormitorios y un cuarto de baño. Los dormitorios principales (Dormitorio 1) son los que se utilizaron para medir el aislamiento acústico en

horizontal entre ambas viviendas. Del mismo modo, se utilizó el Dormitorio 1 como receptor en los ensayos de aislamiento acústico en vertical a ruido aéreo y de impactos



PLANTA BAJA

La planta alta está constituida por dos dormitorios y un cuarto de baño. Para los ensayos de aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos en vertical se usó como emisor el Dormitorio 3 de la planta primera.



PLANTA PRIMERA

Las soluciones constructivas empleadas en este proyecto son las detalladas a continuación.

La separación vertical entre las dos viviendas está compuesta por un cerramiento de doble entramado de madera compuesto por:

- Placa de yeso laminado de 15 mm sobre rastrel de 2 cm de madera.
- Estructura de madera rellena de 14 cm de lana mineral.
- 2 tableros OSB de 12 mm.
- Hueco de 2 cm.
- 2 tableros OSB de 12 mm.
- Estructura de madera rellena de 14 cm de lana mineral.
- Placa de yeso laminado de 15 mm sobre rastrel de 2 cm de madera.

Cada una de las estructuras está desconectada mecánicamente de la otra.

Los forjados son de estructura de madera y se componen de tablero OSB de 18 mm en su parte superior, vigas de 8 cm de canto y placa de yeso laminado de 15 mm sobre rastrel en la parte inferior. Sobre dicho forjado se coloca una lámina anti-impacto de 5 mm de polietileno, placa de yeso laminado reforzado Rigidur o similar y finalmente el suelo flotante de madera o la baldosa en función del tipo de estancia.

La parte ciega de la fachada se compone de (desde el exterior hacia el interior):

- 10 mm de mortero monocapa.
- 30 mm de poliestireno extruido.
- 15 mm de tablero OSB.
- 14 cm de lana de roca, entre montantes de madera.
- 12 mm de tablero OSB.
- 4 cm de rastrel.
- 12 mm de placa de yeso laminado.

Las ventanas son de carpintería de aluminio con rotura de puente térmico y vidrios doble 6/12/4 mm.

3 ENSAYOS REALIZADOS

Se realizaron ensayos de aislamiento acústico a ruido aéreo según la norma UNE-EN ISO 140-4:1999, ensayos de aislamiento acústico a ruido de impacto según la norma UNE-EN ISO 140-7:1999 y ensayos de aislamiento acústico en fachadas según la norma UNE-EN ISO 140-5:1999.

3.1 Ruido aéreo

Los ensayos de aislamiento acústico a ruido aéreo se realizaron según la norma UNE-EN ISO 140-4:1999 “Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 4: Medición in situ”.

En estos ensayos se determinó la diferencia de niveles estandarizada ($D_{nT,A}$) entre dos recintos en condiciones de campo sonoro difuso.

Se eligieron dos locales contiguos y se realizaron medidas de nivel medio de presión sonora en bandas de tercio de octava en el interior del recinto emisor (L1) y en el interior del recinto receptor (L2) con la fuente emisora en funcionamiento. Así mismo se midió ruido de fondo en el local receptor con la fuente de emisión apagada y el tiempo de reverberación en la sala receptora. Las mediciones se realizaron en bandas de 1/3 de octava entre 50 Hz y 5000 Hz.

Se llevaron a cabo dos tandas de ensayos. Por un lado se realizaron los ensayos de aislamiento a ruido aéreo entre el dormitorio 3 de la planta primera y el dormitorio 1 de la planta baja con 4 combinaciones de suelo/techo diferentes tal y como se muestra en la tabla siguiente. Y, por otro lado, se realizó un ensayo de aislamiento acústico a ruido aéreo entre los dormitorio 1 de la planta baja de la casa A y el dormitorio 1 de la planta baja de la casa B.

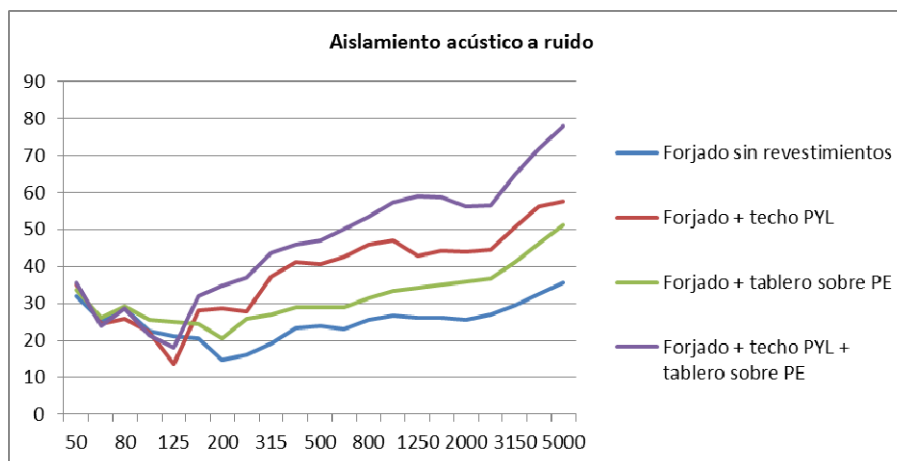
Los elementos constructivos existentes en estos ensayos son:

- Forjado de estructura de madera compuesto por tablero OSB de 18 mm en su parte superior, vigas de 8 cm de canto.
- Techo compuesto por placa de yeso laminado de 15 mm sobre rastrel en la parte inferior.
- Suelo formado por una lámina anti-impacto de 5 mm de polietileno, placa de yeso laminado reforzado y suelo flotante de madera o baldosa en función de la estancia.

Se realizaron cuatro ensayos con distintas combinaciones de suelo y techo para comprobar las mejoras que aporta cada uno de los elementos obteniendo los resultados que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1. Ensayos acústicos a ruido aéreo

Ensayo	Emisor	Receptor	Elemento Separador	Resultado
1A Aéreo	P1_Dormitorio 3B	PB_Dormitorio 1B	Forjado limpio	$D_{nT,A} = 25$ dBA
2A Aéreo	P1_Dormitorio 3B	PB_Dormitorio 1B	Forjado + techo	$D_{nT,A} = 38$ dBA
3A Aéreo	P1_Dormitorio 3B	PB_Dormitorio 1B	Forjado + suelo	$D_{nT,A} = 33$ dBA
4A Aéreo	P1_Dormitorio 3B	PB_Dormitorio 1B	Forjado + techo+ suelo	$D_{nT,A} = 43$ dBA



En la gráfica anterior se observa el incremento de aislamiento acústico a ruido aéreo debido a la adición sobre el forjado de un techo suspendido de placa de yeso laminado y un tablero sobre lámina de polietileno.

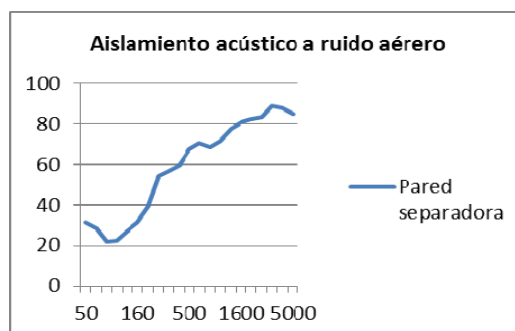
Las curvas representan la diferencia de niveles estandarizada para cada una de las cuatro combinaciones quedando representados en el eje de abscisas los valores de frecuencia en Hercios y en el eje de ordenadas los valores de $D_{nT,A}$.

Por otro lado, se realizó un ensayo de aislamiento acústico a ruido aéreo entre el dormitorio 1 de la planta baja de la casa A y el dormitorio 1 de la planta baja de la casa B, separados por un cerramiento de doble entramado

de madera descrito anteriormente. El resultado de esta medición fue de una diferencia de niveles estandarizada $D_{nT,A}$ de 49 dBA.

Tabla 2. Ensayos acústicos a ruido aéreo

Ensayo	Emisor	Receptor	Elemento Separador	Resultado
5A Aéreo	P1_Dormitorio 1A	PB_Dormitorio 1B	Pared separadora	$D_{nT,A} = 49\text{dBA}$



La gráfica muestra la diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, $D_{nT,A}$, correspondiente al dormitorio 1 de la planta baja de la primera y al dormitorio 1 de la otra vivienda, también en planta baja, separados ambos por un cerramiento doble de entramado de madera.

Los valores de frecuencia están representados en el eje de abscisas y los de $D_{nT,A}$ en el de ordenadas.

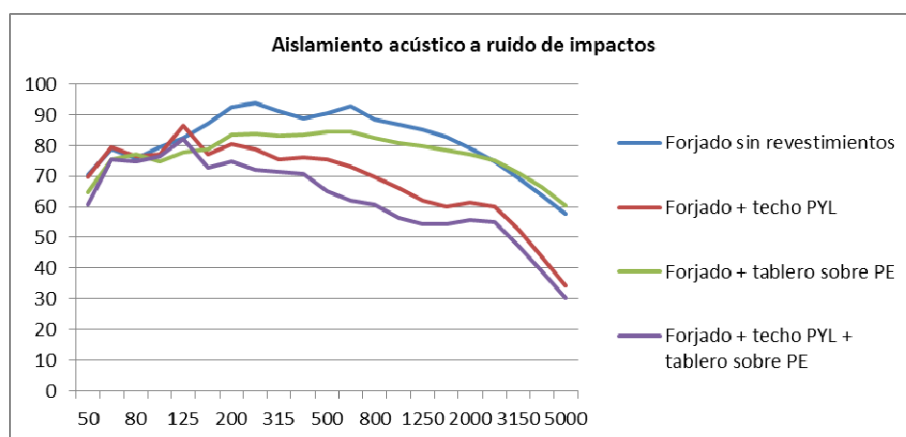
3.2 Ruido de impactos

El procedimiento de ensayo se ajusta a la Norma UNE-EN ISO 140-7:1999 “Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 7: Medición “in situ” que permite obtener el aislamiento acústico a ruido de impactos en términos de nivel de presión de ruido de impactos estandarizado (L'_{nT}).

Al igual que con el ruido aéreo, se realizaron ensayos de aislamiento acústico a ruido de impactos entre el dormitorio 3 de la planta primera y el dormitorio 1 de la planta baja con 4 combinaciones de suelo/techo diferentes tal y como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 3. Ensayos acústicos a ruido de impactos

Ensayo	Emisor	Receptor	Elemento Separador	Resultado
1B Impactos	P1_Dormitorio 3B	PB_Dormitorio 1B	Forjado limpio	$L'_{nT,w} = 88\text{ dB}$
2B Impactos	P1_Dormitorio 3B	PB_Dormitorio 1B	Forjado + techo	$L'_{nT,w} = 74\text{ dB}$
3B Impactos	P1_Dormitorio 3B	PB_Dormitorio 1B	Forjado + suelo	$L'_{nT,w} = 84\text{ dB}$
4B Impactos	P1_Dormitorio 3B	PB_Dormitorio 1B	Forjado + techo+ suelo	$L'_{nT,w} = 69\text{ dB}$

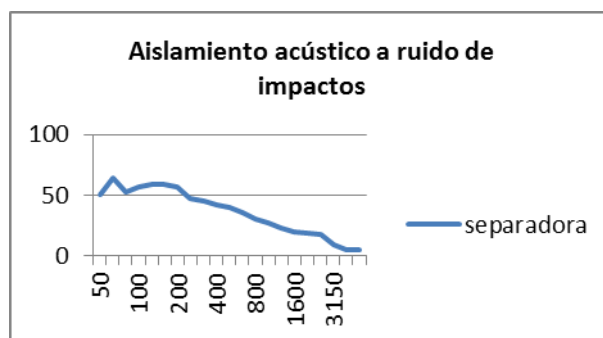


La gráfica muestra el nivel de presión de ruido de impactos estandarizado, L'_{nT} , obtenido con las diferentes combinaciones de forjado entre el dormitorio de la planta superior y el de la planta baja. Al aumentar el forjado decrece el L'_{nT} obteniéndose un mayor aislamiento a ruido de impactos.

Del mismo modo, se realizó un ensayo de aislamiento acústico a ruido de impactos entre el dormitorio 1 de la planta baja de la casa A y el dormitorio 1 de la planta baja de la casa B, separados por un cerramiento de doble entramado de madera descrito anteriormente. El resultado de esta medición fue un nivel global de presión de ruido de impactos estandarizado de $L'_{nT,w}$ de 49 dB.

Tabla 4. Ensayo acústico a ruido de impacto dormitorio

Ensayo	Emisor	Elemento Separador	Resultado
5B Impactos	P1_Dormitorio 3B	Pared separadora	$L'_{nT,w} = 49$ dB



La gráfica muestra el nivel de presión de ruido de impactos estandarizado, L'_{nT} , correspondiente al dormitorio 1 de la planta baja de la primera y al dormitorio 1 de la otra vivienda, también en planta baja, separados ambos por un cerramiento doble de entramado de madera.

Los valores de frecuencia están representados en el eje de abscisas y los de L'_{nT} en el de ordenadas.

3.3 Ruido de fachada

El procedimiento de ensayo de aislamiento de fachadas se ajusta a la Norma UNE-EN ISO 140-5:1999 "Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 5: Medición in situ del aislamiento al ruido aéreo de elementos de fachadas y de fachadas. El aislamiento a ruido aéreo se determina mediante el parámetro $D_{2m,nT}$, diferencia de nivel estandarizada.

Tabla 5. Ensayo acústico a ruido de fachada

Ensayo	Emisor	Receptor	Elemento Separador	Resultado
6A Fachada	Exterior	PB_Dormitorio 1B	Fachada	$D_{2m,nT,Atr}=30$ dBA

4 EXIGENCIAS ACÚSTICAS

Para determinar las exigencias exigidas en este proyecto comenzamos identificando los usos del edificio y procediendo a su zonificación.

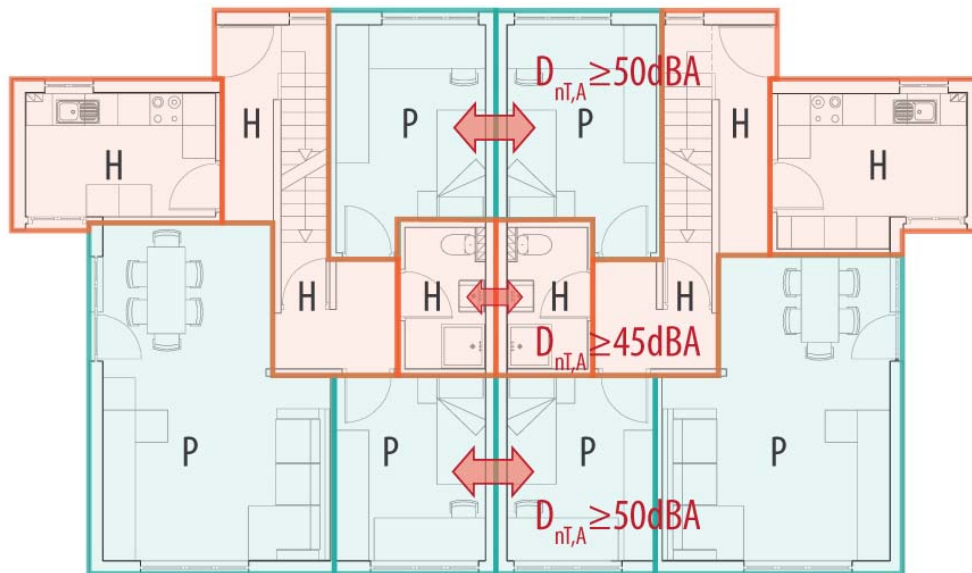
En este caso, el edificio tiene un uso residencial privado y cada una de las viviendas constituye una unidad de uso diferente. Así mismo, dentro de cada unidad de uso existen distintos tipos de recintos que nos indicarán las exigencias acústicas necesarias para el cumplimiento del DB HR.

Los dormitorios y los salones son recintos protegidos, mientras que las cocinas y los cuartos de baño se consideran recintos protegidos.

Una vez identificados los distintos tipos de recintos determinamos los valores de aislamiento tanto a ruido aéreo como de impactos exigidos.

4.1 Exigencias a ruido aéreo

En este caso concreto, debido a que los recintos colindantes verticalmente pertenecen a la misma unidad de uso, sólo existe exigencia de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos colindantes horizontalmente, tal y como se muestra en la siguiente figura.

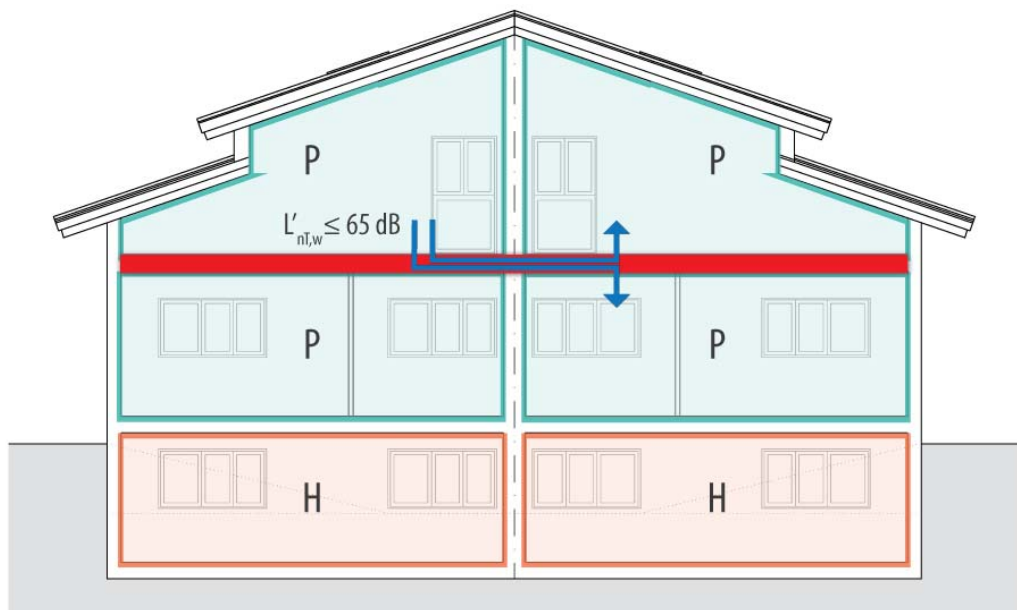


La diferencia de niveles estandarizada exigida en el DB HR entre recintos protegidos es de $D_{nT,A} = 50 \text{ dBA}$, y entre recintos habitables de $D_{nT,A} = 45 \text{ dBA}$.

El ensayo realizado entre los dormitorios de la planta baja nos proporciona un dato de aislamiento de $D_{nT,A}$ de 49 dBA, lo cual nos muestra que está dentro de las exigencias del DB HR ($D_{nT,A} = 50 \text{ dBA}$ con una tolerancia de 3 dBA).

4.2 Exigencias a ruido de impacto

Al igual que en el caso de las exigencias acústicas a ruido aéreo, en las relativas a ruido de impacto no existe exigencia los recintos colindantes verticalmente ya que pertenecen a la misma unidad de uso. De este modo, solo se aplica la exigencia de aislamiento acústico a ruido de impactos entre recintos colindantes horizontalmente y con una arista horizontal común.



El nivel global de presión de ruido de impactos exigido para recintos colindantes horizontalmente y con una arista horizontal común es de $L'_{nT,w} \leq 65$ dB.

El ensayo realizado entre los dormitorios de la planta baja dio un resultado de $L'_{nT,w} = 49$ dB, situándolo dentro de las exigencias del DB HR.

4.3 Exigencias a ruido exterior

Se supone un valor del índice de ruido día, L_d de 60 dBA considerando un tipo de área acústica relativo a sectores de territorio con predominio de suelo de uso residencial.

Teniendo en cuenta este valor de índice de ruido día, el DB HR fija unas exigencias de $D_{2m,nT,Atr}$ de 30 dBA.

Con el ensayo realizado en fachada se obtuvo un $D_{2m,nT,Atr}$ de 30 dBA, por lo que también cumple con las exigencias acústicas del DB HR.

5 CONCLUSIONES

Con esta investigación se pretendía profundizar en el conocimiento del comportamiento y aislamiento acústico en edificios de estructura de madera.

Este tipo de construcción en obra nueva es atípica en España y se pretende conocer si se cumplen las exigencias establecidas en el DB HR en este tipo de edificaciones.

En este estudio, mediante un análisis comparativo con el DB HR y desde el punto de vista acústico, se demuestra que las soluciones estudiadas han dado resultados muy satisfactorios, alcanzando los límites de aislamiento exigidos por la normativa actual.

Los ensayos realizados con las diferentes combinaciones de suelo y techo muestran como mejora el aislamiento acústico tanto a ruido aéreo como a ruido de impactos al añadir al forjado un techo suspendido y un suelo flotante, aunque no existen exigencias de aislamiento entre estos recintos.

6 REFERENCIAS

Documento Básico HR Protección frente al Ruido

Guía de Aplicación del DB HR Protección frente al Ruido.

Norma UNE-EN ISO 140-4:1999. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 4: Medición "in situ" del aislamiento al ruido aéreo entre locales. (ISO 140-4:1998)

Norma UNE-EN ISO 140-7:1999. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 7: Medición in situ del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos. (ISO 140-7:1998)

Norma UNE-EN ISO 140-5:1999. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 5: Mediciones in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachadas y de fachadas. (ISO 140-5:1998).

Experiencias en materia acústica en proyecto, ejecución y puesta en obra

Teresa Marzo Peligero

Arquitecto. Directora de Proyectos. Vía Célere.

Resumen

Análisis completo sobre el estudio acústico de un Proyecto real de 125 viviendas situado junto a la M-30.

Se analizarán los datos previos del edificio: la situación, el índice de ruido día Ld según el mapa estratégico de ruido, el uso del edificio, la zonificación de los recintos según el uso, los valores límite de aislamiento acústico a ruido aéreo, los valores límite de nivel de presión de ruido de impactos, la composición material de los distintos elementos constructivos del Edificio, sus encuentros y disposición respecto de sus colindantes, y sus instalaciones, para comprobar si se ajustan al cumplimiento de las exigencias del DB-HR de Protección contra el Ruido del CTE (septiembre 2009), así como de la Ordenanza Municipal de Madrid (2011) actualmente en vigor.

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo del requisito básico “Protección frente el ruido” consiste en limitar, dentro de los edificios y en condiciones normales de utilización, el riesgo de molestias o enfermedades que el ruido pueda producir a los usuarios como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.

Para satisfacer este objetivo, los edificios se proyectarán, construirán y mantendrán de tal forma que los elementos constructivos que conforman sus *recintos* tengan unas características acústicas adecuadas para reducir la transmisión del ruido aéreo, del ruido de impactos y del ruido y vibraciones de las instalaciones propias del edificio, y para limitar el ruido reverberante de los *recintos*.

2 LEGISLACIÓN APLICABLE

- **Ley del ruido: Ley 37/2003**
- **DB HR del CTE (septiembre 2009),**
- **Ordenanza de Protección contra la Contaminación Acústica y Térmica del Ayto. de Madrid (2011).**

3 PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN DE LA GUÍA

3.1 Proyecto básico

En esta etapa es necesario zonificar el edificio para saber que exigencias deben aplicarse y a que recintos.

3.2 Proyecto de ejecución

Durante esta fase del proyecto es necesaria la definición concreta de los elementos constructivos que satisfacen las exigencias de aislamiento acústico, así como de la forma en que estos se unen entre sí.

Para definirlos, el DB HR establece dos opciones:

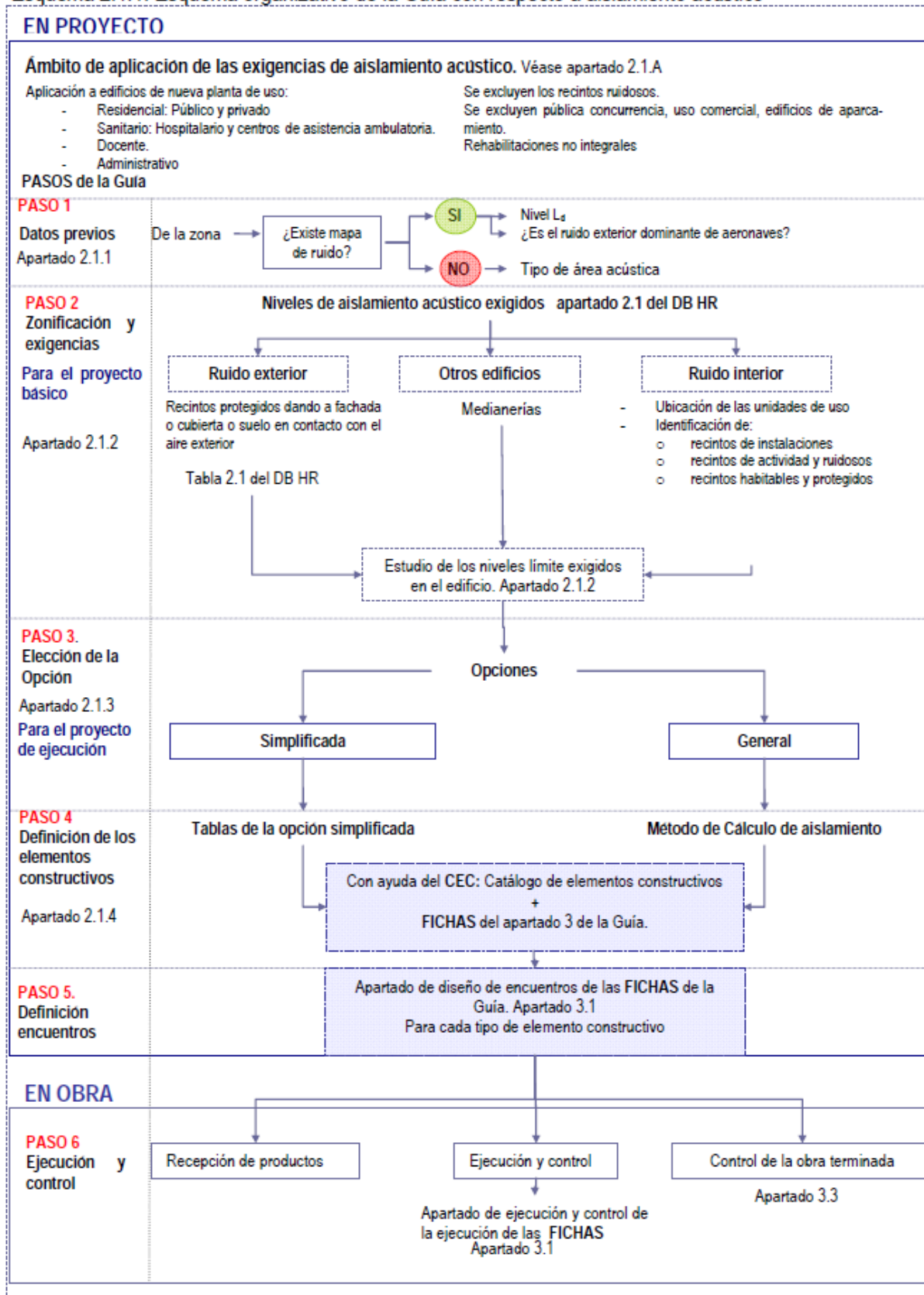
- **La opción simplificada**, que contiene soluciones que dan conformidad a las exigencias de aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos.
- **La opción general**, que consiste en un método de cálculo basado en el modelo simplificado de la norma UNE EN 12354, partes 1, 2 y 3.

Además, es necesario aportar información sobre los **encuentros entre elementos constructivos**, para lo cual pueden usarse las FICHAS de la Guía, que en los apartados de diseño de uniones, contienen información y recomendaciones para cada uno de los tipos de elementos constructivos recogidos en la opción simplificada.

3.3 Ejecución en obra

Es necesario aplicar una serie de buenas prácticas de forma que no se menoscabe el aislamiento acústico de los elementos constructivos cuando éstos se ejecuten. En la Guía aparecen unas fichas de control de obra, información sobre la recepción de productos y una serie de recomendaciones en el caso de que se efectúe una verificación in situ.

Esquema 2.1.1. Esquema organizativo de la Guía con respecto a aislamiento acústico



4 ESTUDIO ACÚSTICO

Tomando como referencia la Memoria y los Planos de Arquitectura del proyecto, analizaremos a continuación el aislamiento acústico que aportarán las soluciones previstas y la transmisión de ruido generado por las instalaciones, de la forma siguiente:

-Aislamiento Acústico de los elementos constructivos

- Cerramientos exteriores
- Separaciones entre distintos usos
- Forjados

-Instalaciones

- Saneamiento
- Ventilación de viviendas
- Aire acondicionado
- Ascensores
- Ventilación forzada de garaje
- Puerta de Garaje
- Grupos de presión fontanería
- Depuradora de Piscina.

4.1 Aislamiento acústico de los elementos constructivos

A continuación se analizan los diferentes elementos constructivos contemplados en proyecto, recogiendo de cada uno las fichas justificativas de exigencias del DB-HR.

En las justificaciones se valorarán los casos más restrictivos. La elección de los mismos ha contemplado la variabilidad de superficie de muestra, volúmenes de recintos y disposición de los mismos.

Para el análisis y justificación del CTE DB-HR se han escogido como referencia los siguientes recintos:

4.1.1 Fachada

4.1.1.1 Consideraciones acústicas

El CTE-DB-HR, indica que los aislamientos de los cerramientos exteriores de los recintos protegidos (dormitorios, salones, etc) deberán proyectarse en función del nivel de exposición **de ruido día (L_d)** de dicha edificación. Según el mapa de ruidos de Madrid, publicado por el Ayuntamiento de dicha localidad, en el distrito de Adelfas (y concretamente en la zona de estudio) tenemos:



Tabla 2.1 Valores de aislamiento acústico a ruido aéreo, $D_{2m,nT,Atr}$, en dBA, entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido día, L_d .

L_d dBA	Uso del edificio			
	Residencial y hospitalario		Cultural, sanitario ⁽¹⁾ , docente y administrativo	
	Dormitorios	Estancias	Estancias	Aulas
$L_d \leq 60$	30	30	30	30
$60 < L_d \leq 65$	32	30	32	30
$65 < L_d \leq 70$	37	32	37	32
$70 < L_d \leq 75$	42	37	42	37
$L_d > 75$	47	42	47	42

⁽¹⁾ En edificios de uso no hospitalario, es decir, edificios de asistencia sanitaria de carácter ambulatorio, como despachos médicos, consultas, áreas destinadas al diagnóstico y tratamiento, etc.

Según esta información, la zona se halla inmersa en un área con exposición al ruido de tráfico rodado (L_d) inferior a 75 dBA pero superior a 70 dBA. Por tanto, el aislamiento acústico de las fachadas del Edificio deberá ser de **$D_{2m,nT,Atr} \geq 42$ dBA** en dormitorios y **$D_{2m,nT,Atr} \geq 37$ dBA** en estancias tales como salones. Sin embargo, en la línea de fachada posterior respecto a la M-30, se producirán niveles por debajo de 70 dBA. De este modo, los objetivos de calidad acústica en esta zona serán **$D_{2m,nT,Atr} \geq 37$ dBA**, en dormitorios y **$D_{2m,nT,Atr} \geq 32$ dBA** en salones.

La COMPOSICIÓN MATERIAL básica de las fachadas, será:

Parte opaca

- ½ pie ladrillo cara vista
- proyectado de mortero hidrófugo 5mm
- panel lana mineral 6cm
- estructura portante 46mm
- placa simple de yeso laminado 15mm

Parte acristalada

Además de los vidrios y ventanas propuestas en el catálogo de elementos constructivos del CTE, se barajan distintas configuraciones de carpintería, en base a los resultados de laboratorio que aporta los fabricantes.

a.- Fachada enfrentada a M-30

- **Dormitorios:** WICLINE 65 con vidrios Consafis Plus Phon 45/51 de espesores (8+8)/15/(6+6) con butirales de 1mm, y junta externa. Carpintería Clase 4 en cuanto a su estanquidad al paso del aire. Según datos del catálogo del CTE, otra Opción pasaría por la instalación de una doble ventana, siendo la interior de apertura batiente (vidrio 6/6/4mm) y la exterior corredera (vidrio 4/6/4).
- **Salones:** WICLINE 65 con vidrios Consafis Plus Phon 42/47 de espesores 10/24/4+4.
- **Resto de espacios:** Si bien no hay limitaciones por parte del CTE, sí deben ponerse los medios para obtener unos niveles de confortabilidad acústica adecuados para un espacio de vivienda. Para ello, recomendamos el uso de carpinterías Clase 3 y vidrio 6/12/4mm.

b.- Fachada opuesta a M-30

- **Dormitorios:** WICLINE 65 con vidrios Consafis Plus Phon 32/40 de espesores 10/16/6.

- **Salones:** Ventana sencilla, fija o de apertura batiente, con vidrios 8/12/6.
- **Resto de espacios:** Carpinterías Clase 3 y vidrios 6/12/4mm.

AIREADORES: Todos los aireadores de dormitorios deberán tener un índice acústico $D_{ne} ATR \geq 48$ dBA y en salones $D_{ne} ATR \geq 40$ dBA.

CAJONES DE PERSIANA: Del mismo modo, los capialzados de persiana deberán llevar un refuerzo acústico en su interior que evite las pérdidas que a través de esta pieza se suelen producir en fachada. En el mercado, existen innumerables fabricantes de los que habrá que seleccionar aquel que nos aporte el mayor aislamiento acústico posible, para que al menos, el conjunto ventana, no se vea debilitado por este.

Hay fabricantes que poseen cajones aislados, pero que en el mejor de los casos, alcanzan valores de aislamiento acústico $RA = 32/33$ dB A.

Por ello, sobre el cajón de persiana que se seleccione, se deberá reforzar aún más principalmente la tapa de registro, con alguna lámina EPDM autoadhesivo.

4.1.1.2 Fichas justificativas del aislamiento acústico a ruido aéreo de fachadas (opción simplificada)

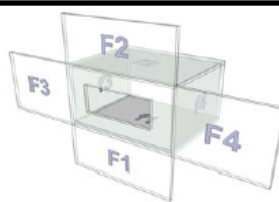
A continuación se recogen las fichas justificativas del aislamiento acústico de los casos significativos identificados como más desfavorables. En concreto, las piezas de vivienda escogidas son un dormitorio de la fachada directamente enfrentada a la M-30 y un dormitorio de su opuesta, todos ellos en el portal B. Concretamente, dormitorio tipo C, para el primer caso; y dormitorio tipo E, en la fachada opuesta.



Documento Básico HR Protección frente al ruido

Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo en fachadas.

Proyecto	125viv. RESIDENCIAL ADELFA c\ Cerro Negro, Madrid
Autor	Sara Sicilia Felipe
Fecha	18/10/2011
Referencia	FACHADA DORM, VIV. C EN PLANTA TIPO PORTAL B Carpintería CLASE 4 Vidrios 8+8/15/6+6.



Características técnicas de la fachada y edificio							
Tipo de Ruido Exterior		Automóviles			L _d (dBA)		72
Forma de fachada		Plano de Fachada			ΔL _f (dB)		0
Soluciones Constructivas							
Sección Separador		LP 115 + RM + AT + YL 15 (valores mínimos)					
Sección Flanco F1		LP 115 + RM + AT + YL 15 (valores mínimos)					
Sección Flanco F2		LP 115 + RM + AT + YL 15 (valores mínimos)					
Sección Flanco F3		LP 115 + RM + AT + YL 15 (valores mínimos)					
Sección Flanco F4		LP 115 + RM + AT + YL 15 (valores mínimos)					
Parámetros Acústicos							
	S _i (m ²)	l _i (m)	m' (kg/m ²)	R _{a, tr} (dBA)	R _a (dBA)		
Sección Separador	6	-	184	48	53	-	-
Sección Flanco F1	6	2,4	184	48	53	-	-
Sección Flanco F2	6	2,4	184	48	53	-	-
Sección Flanco F3	8,5	2,5	184	48	53	-	-
Sección Flanco F4	7,5	2,5	184	48	53	-	-

Características técnicas del recinto receptor							
Tipo de Recinto		Residencial y hospitalario Dormitorios			Volumen	18,1 m³	
		Soluciones Constructivas					
Sección Separador		LP 115 + RM + AT + YL 15 (valores mínimos)					
Suelo f1		R_BHA 300 mm					
Techo f2		R_BHA 300 mm					
Pared f3		Enl 15 + LP 115 + Enl 15 (valores mínimos)					
Pared f4		YL 15 + AT MW 48 + YL 15					
		Parámetros Acústicos					
	S _i (m²)	l _i (m)	m' (kg/m²)	R _a (dBA)	R _{a,br} (dBA)	ΔR _a (dBA)	
Sección Separador	6	-	184	53	48	0	-
Suelo f1	7,24	2,4	369	55	-	4	-
Techo f2	7,24	2,4	369	55	-	2	-
Pared f3	7	2,5	150	42	-	14	-
Pared f4	8,5	2,5	26	43	-	0	-

Huecos en el separador					
Ventanas, puertas y lucernarios		S (m ²)	$R_{a,ir}$ (dBA)	R_a (dBA)	ΔR (dB)
	Hueco 1	1,48	43	46	0
	Hueco 2	0	0	0	0
	Hueco 3	0,03	30	-	0
	Hueco 4	0	0	0	0

Vías de transmisión aérea directa o indirecta			
Vías de transmisión aérea	transmisión directa I	$D_{n,91,A}$ (dBA)	48
	transmisión directa II	$D_{n,92,A}$ (dBA)	-
	transmisión indirecta	$D_{n,9,A}$ (dBA)	-

Tipos de uniones e índices de reducción vibracional					
Encuentro	Tipo de unión	K_{FF}	K_{Fd}	K_{Dr}	
fachada - suelo	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 3)	6,22	10,48	6,22	
fachada - techo	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 3)	6,22	10,48	6,22	
fachada - pared	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 2)	5,74	4,49	5,74	
fachada - pared	Unión en T de elemento de entramado autoportante y elemento homogéneo (orientación 2)	18,50	-1,25	18,50	

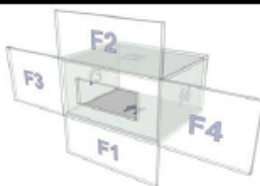
Transmisión de ruido del exterior				
	Cálculo	Requisito		
Aislamiento acústico a ruido aéreo	$D_{2m,nT,Atf}$ (dBA)	42	42	CUMPLE



Documento Básico HR Protección frente al ruido

Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo en fachadas.

Proyecto	125viv. RESIDENCIAL ADELFA el Cerro Negro, Madrid
Autor	Sara Sicilia Felipe
Fecha	18/10/2011
Referencia	FACHADA DORM. Junto a Salón de viv. E EN PLANTA TIPO PORTAL B Carpintería CLASE 4 Vidrios 10/16/6.



Características técnicas de la fachada y edificio						
Tipo de Ruido Exterior		Automóviles		L_e (dBA)	68	
Forma de fachada		Plano de Fachada		ΔL_n (dB)	0	
	Soluciones Constructivas					
Sección Separador	LP 115 + RM + AT + YL 15 (valores mínimos)					
Sección Flanco F1	LP 115 + RM + AT + YL 15 (valores mínimos)					
Sección Flanco F2	LP 115 + RM + AT + YL 15 (valores mínimos)					
Sección Flanco F3	LP 115 + RM + AT + YL 15 (valores mínimos)					
Sección Flanco F4	LP 115 + RM + AT + YL 15 (valores mínimos)					
	Parámetros Acústicos					
	S_i (m ²)	l_i (m)	m'_i (kg/m ²)	$R_{a,i}$ (dBA)	R_a (dBA)	
Sección Separador	6	-	184	48	53	-
Sección Flanco F1	6	2,4	184	48	53	-
Sección Flanco F2	6	2,4	184	48	53	-
Sección Flanco F3	6,25	2,5	184	48	53	-
Sección Flanco F4	8,5	2,5	184	48	53	-

Características técnicas del recinto receptor							
Tipo de Recinto		Residencial y hospitalario Dormitorios		Volumen		22,3 m³	
Soluciones Constructivas							
Sección Separador		LP 115 + RM + AT + YL 15 (valores mínimos)					
Suelo f1		R_BHA 300 mm					
Techo f2		R_BHA 300 mm					
Pared f3		YL 15 + AT MW 48 + YL 15					
Pared f4		YL 15 + AT MW 48 + YL 15					
Parámetros Acústicos							
	S_i (m²)	l_i (m)	m'_i (kg/m²)	$R_{a,i}$ (dBA)	$R_{a,0}$ (dBA)	ΔR_a (dBA)	
Sección Separador	6	-	184	53	48	0	-
Suelo f1	8,9	2,4	369	55	-	4	-
Techo f2	8,9	2,4	369	55	-	2	-
Pared f3	10	2,5	26	43	-	0	-
Pared f4	10	2,5	26	43	-	0	-

Huecos en el separador						
Ventanas, puertas y lucernarios		S (m ²)	$R_{a,i}$ (dBA)	R_a (dBA)	ΔR (dB)	
	Hueco 1	1,48	35	37	0	
	Hueco 2	0	0	0	0	
	Hueco 3	0,03	30	-	0	
	Hueco 4	0	0	0	0	

Vías de transmisión aérea directa o indirecta			
Vías de transmisión aérea	transmisión directa I	$D_{n,et,A}$ (dBA)	48
	transmisión directa II	$D_{n,et,A}$ (dBA)	-
	transmisión indirecta	$D_{n,i,A}$ (dBA)	-

Tipos de uniones e índices de reducción vibracional					
Encuentro	Tipo de unión	K_{ff}	K_{fd}	K_{df}	
fachada - suelo	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 3)	6,22	10,48	6,22	
fachada - techo	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 3)	6,22	10,48	6,22	
fachada - pared	Unión en T de elemento de entramado autoportante y elemento homogéneo (orientación 2)	18,50	-0,88	18,50	
fachada - pared	Unión en T de elemento de entramado autoportante y elemento homogéneo (orientación 2)	18,50	-1,48	18,50	

Transmisión de ruido del exterior				
	Cálculo	Requisito		
Aislamiento acústico a ruido aéreo	$D_{n,et,A}$ (dBA)	39	37	CUMPLE

4.1.2 Muros medianeros entre viviendas

4.1.2.1 Consideraciones acústicas

El DB-HR del CTE exige que aislamiento acústico a ruido aéreo entre un recinto protegido (dormitorios, salones, etc.) y cualquier otro del edificio será de **DnTA \geq 50 dBA**.

Esta exigencia se reduce para cocinas, pasillos y distribuidores, considerados habitables pero no protegidos: el aislamiento acústico a ruido aéreo entre un recinto habitable y cualquier otro del edificio será de **DnTA \geq 45 dBA**.

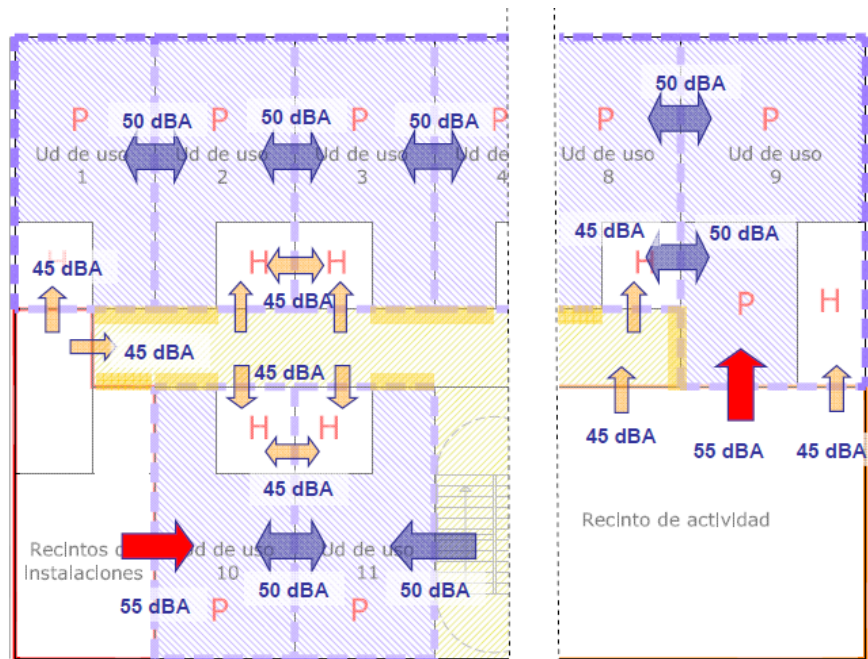


Figura 2.1.2.3. Ejemplo de aplicación de las exigencias de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos

4.1.2.2 Análisis de los elementos constructivos del proyecto

Según proyecto, la composición material de las separaciones entre viviendas es:

- Placa de yeso laminado 15mm
- Estructura portante 46mm rellena de fibra de vidrio
- ½ pie ladrillo tosco
- Estructura portante 46mm rellena de fibra de vidrio
- Placa de yeso laminado 15mm

4.1.2.3 Ficha justificativa del aislamiento acústico a ruido aéreo de separaciones entre viviendas

A continuación se recogen las fichas justificativas de los casos más restrictivos. Dado que la composición material es similar tanto en recintos protegidos como en habitables, nos ceñiremos al caso de mayor exigencia legislativa. Concretamente, las estancias seleccionadas son: salón de vivienda B y dormitorio de vivienda C, en planta tipo.

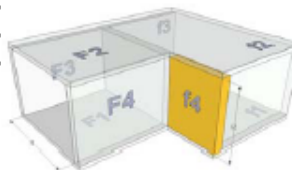
En las propias fichas se comprueba también el cumplimiento en cuanto a la transmisión de ruido de impactos en horizontal, según la composición material que veremos en el capítulo de *forjados*.



Documento Básico HR Protección frente al ruido

Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo y de impactos entre recintos interiores.
Caso: Recintos adyacentes con 3 aristas comunes. Transmisión horizontal.

Proyecto	125viv. RESIDENCIAL ADELFA el Cerro Negro, Madrid
Autor	Sara Sicilia Felipe
Fecha	18/10/2011
Referencia	MEDIANERÍA ENTRE SALÓN DE VIVIENDA B Y DORMITORIO VIVIENDA C, EN PLANTA TIPO PORTAL B



Características técnicas del recinto 1							
Tipo de recinto como emisor				Unidad de uso			
Tipo de recinto como receptor				-	Volumen	18,1 m³	
Soluciones Constructivas							
Separador				Enl 15 + LP 115 + Enl 15 (valores mínimos)			
Suelo F1				R_BHA 300 mm			
Techo F2				R_BHA 300 mm			
Pared F3				LP 115 + RM + AT + YL 15 (valores mínimos)			
Pared F4				YL 15 + AT MW 48 + YL 15			
Parámetros Acústicos							
	S_i (m²)	l_i (m)	m_i' (kg/m²)	R_a (dBA)	$L_{n,w}$ (dB)	ΔR_a (dBA)	$\Delta L_{n,w}$ (dB)
Separador	7	-	150	42	-	14	-
Suelo F1	7,24	2,8	369	55	74	4	20
Techo F2	7,24	2,8	369	55	74	2	2
Pared F3	6	2,5	173	47	-	6	-
Pared F4	6	2,5	26	43	-	0	0

Características técnicas del recinto 2							
Tipo de recinto como emisor				Unidad de uso			
Tipo de recinto como receptor				Protegido		Volumen	46,8 m³
Soluciones Constructivas							
Separador	Enl 15 + LP 115 + Enl 15 (valores mínimos)						
Suelo f1	R_BHA 300 mm						
Techo f2	R_BHA 300 mm						
Pared f3	LP 115 + RM + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Pared f4	Enl 15 + LP 115 + Enl 15 (valores mínimos)						
Parámetros Acústicos							
	S _i (m²)	l _i (m)	m' (kg/m²)	R _a (dBA)	L _{n,w} (dB)	ΔR _a (dBA)	ΔL _w (dB)
Separador	7	-	150	42	-	14	-
Suelo f1	18,7	2,8	369	55	74	4	20
Techo f2	18,7	2,8	369	55	74	2	2
Pared f3	8,5	2,5	173	47	-	6	-
Pared f4	6,9	2,5	150	42	-	14	-

Huecos en el separador y vías de transmisión aérea directa o indirecta			
Ventanas, puertas y lucernarios	superficie	S (m²)	0
	índice de reducción	R_a (dBA)	0
Vías de transmisión aérea	transmisión directa	$D_{n,A}$ (dBA)	0
	transmisión indirecta	$D_{n,A,A}$ (dBA)	0

Tipos de uniones e índices de reducción vibracional				
Encuentro	Tipo de unión		K_{vt}	K_{vd} K_{vt}
separador - suelo	Unión rígida en + de elementos homogéneos		2,89	9,57 9,57
separador - techo	Unión rígida en + de elementos homogéneos		2,89	9,57 9,57
separador - pared	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 1)		4,85	5,72 5,72
separador - pared	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 4)		9,00	9,00 -1,43

Transmisión del recinto 1 al recinto 2				
		Cálculo	Requisito	
Aislamiento acústico a ruido aéreo	$D_{nT,A}$ (dBA)	60	50	CUMPLE
Aislamiento acústico a ruido de impacto	$L'_{nT,w}$ (dB)	42	65	CUMPLE

Transmisión del recinto 2 al recinto 1				
		Cálculo	Requisito	
Aislamiento acústico a ruido aéreo	$D_{nT,A}$ (dBA)	56	50	CUMPLE
Aislamiento acústico a ruido de impacto	$L'_{nT,w}$ (dB)	42	65	CUMPLE

4.1.3 Muros medianeros entre vivienda y espacio común

4.1.3.1 Consideraciones acústicas

El DB-HR del Código Técnico de la Edificación, en recintos protegidos, establece como aislamiento acústico a ruido aéreo para estos Muros Medianeros el valor de $D_{nTA} \geq 50$ dBA, siempre que no comparta puertas o ventanas. Cuando sí las comparten, el aislamiento será de $R_A \geq 50$ dBA para la parte opaca del Muro, y $R_A \geq 30$ dBA para el elemento puerta o ventana.

En los casos en los que la estancia colindante al recinto protegido sea una sala de instalaciones o recinto de actividad, la exigencia para su aislamiento pasa a ser $D_{nTA} \geq 55$ dBA.

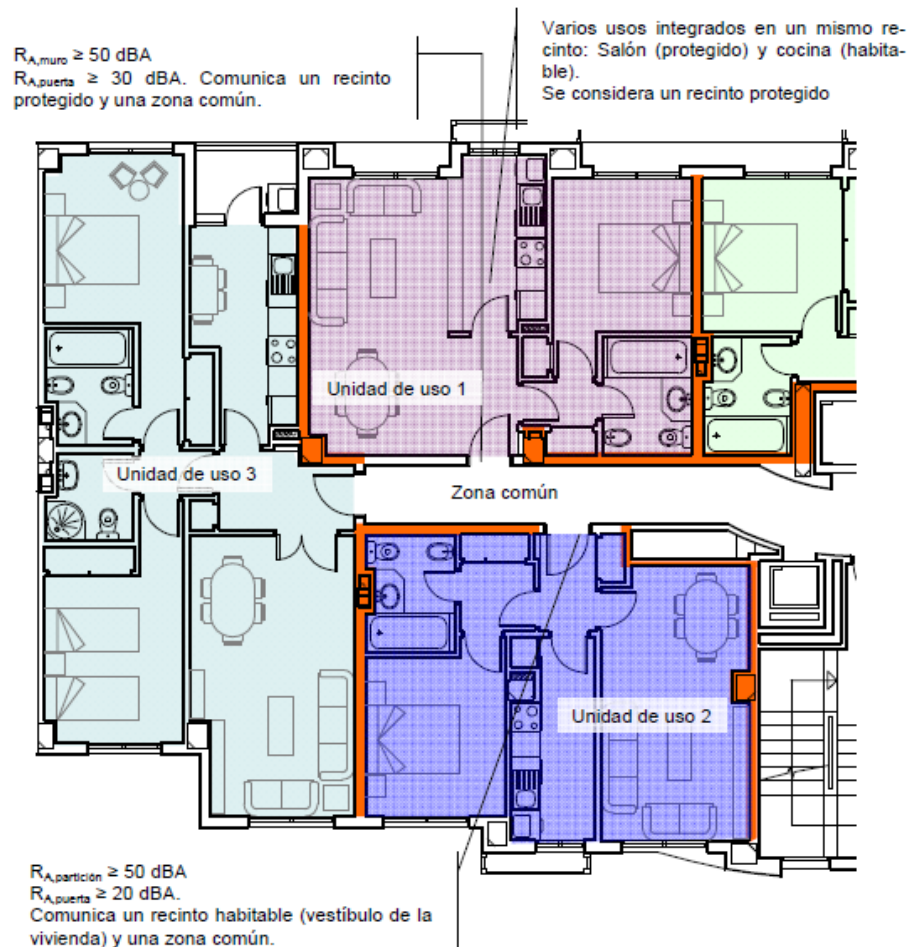


Figura 2.1.2.4. Ejemplo de aplicación de las exigencias de aislamiento acústico entre recintos, cuando en ellos existen puertas.

4.1.3.2 Análisis de los elementos constructivos del proyecto

Según proyecto, la composición material de estos muros medianeros será:

- Guarnecido y enlucido de yeso
- ½ pie de ladrillo tosco
- estructura portante 46mm rellena de fibra de vidrio
- doble placa de yeso laminado 15 + 15mm

En el caso de ascensores, en lugar de ladrillo tosco encontramos un muro de hormigón 25cm, con el mismo trasdosado.

Indicar, que en la promoción de viviendas se dan varios casos en los que espacios protegidos tales como salones comunican con las zonas comunes únicamente mediante la puerta de acceso a vivienda (plantas tipo de Portal C; baja y 8ª de Portal A y 7ª en los tres portales). En tales casos, dichas puertas deberán contar con un certificado de $RA \geq 30$ dBA. Para el resto, será suficiente con el cumplimiento de $RA \geq 20$ dBA. La parte opaca CUMPLE, ya que según el CTE cuenta con un aislamiento de $RA = 56$ dBA.

En el caso de las separaciones de espacio protegido de vivienda con locales comerciales, el cerramiento deberá contar con dos muros de ladrillo toco, además del trasdosado interior de la vivienda.

4.1.3.3 Ficha justificativa del aislamiento acústico a ruido aéreo de paramentos entre vivienda y espacios comunes

Seguidamente se muestra la ficha justificativa del caso más restrictivo de cada una de las configuraciones. Dicha configuración es:

– Muro entre zona común portal B y salón 7ºE

Las fichas muestran también el cumplimiento con la transmisión a ruido de impactos.

CTE
CONSEJO REGULADOR
DE LA CONSTRUCCIÓN

Documento Básico HR Protección frente al ruido

Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo y de impactos entre recintos interiores.
Caso: Recintos adyacentes con 2 aristas comunes. Transmisión horizontal. Caso A

Proyecto	125viv. RESIDENCIAL ADELFA de Cerro Negro, Madrid
Autor	Sara Sicilia Felipe
Fecha	18/10/2011
Referencia	MEDIANERÍA ENTRE SALÓN DE VIVIENDA 7B Y ZONA COMÚN, PORTAL B

Características técnicas del recinto 1

Tipo de recinto como emisor	Unidad de uso						
Tipo de recinto como receptor	-						
				Volumen	48,3 m³		
Soluciones Constructivas							
Separador	Enl 15 + LP 115 + Enl 15 (valores mínimos)						
Suelo F1	R_BHA 300 mm						
Techo F2	R_BHA 300 mm						
Pared F3	YL 15 + AT MW 48 + YL 15						
Pared F4	H 200						
Parámetros Acústicos							
	S_i (m²)	l_i (m)	m_i' (kg/m²)	R_{a_i} (dBA)	$L_{n,w}$ (dB)	ΔR_{a_i} (dBA)	$\Delta L_{n,w}$ (dB)
Separador	15	-	150	42	-	14	-
Suelo F1	19,3	6	389	55	74	4	20
Techo F2	19,3	6	389	55	74	2	2
Pared F3	8,1	2,5	26	43	-	0	-
Pared F4	8,1	2,5	500	60	-	7	-

Características técnicas del recinto 2

Tipo de recinto como emisor	Otros recintos(*)						
Tipo de recinto como receptor	Protegido		Volumen		63,3 m³		
Soluciones Constructivas							
Separador	Enl 15 + LP 115 + Enl 15 (valores mínimos)						
Suelo f1	R_BHA 300 mm						
Techo f2	R_BHA 300 mm						
Pared f3	Enl 15 + LP 115 + Enl 15 (valores mínimos)						
Pared f4	Enl 15 + LP 115 + Enl 15 (valores mínimos)						
Parámetros Acústicos							
	S_i (m²)	l_i (m)	m_i' (kg/m²)	R_{a_i} (dBA)	$L_{n,w}$ (dB)	ΔR_{a_i} (dBA)	$\Delta L_{n,w}$ (dB)
Separador	15	-	150	42	-	0	-
Suelo f1	25,3	6	389	55	74	0	0
Techo f2	25,3	6	389	55	74	7	9
Pared f3	3,75	2,5	150	42	-	0	0
Pared f4	26,3	2,5	150	42	-	0	0

Huecos en el separador y vías de transmisión aérea directa o indirecta

Ventanas, puertas y lucernarios	superficie	S (m²)	0
	índice de reducción	R_{a_i} (dBA)	0
Vías de transmisión aérea	transmisión directa	$D_{n,i,A}$ (dBA)	0
	transmisión indirecta	$D_{n,i,A}$ (dBA)	0

Tipos de uniones e índices de reducción vibracional				
Encuentro	Tipo de unión	K_{et}	$K_{e,d}$	K_{or}
separador - suelo	Unión rígida en + de elementos homogéneos	2,89	9,57	9,57
separador - techo	Unión rígida en + de elementos homogéneos	2,89	9,57	9,57
separador - pared	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 4)	9,00	9,00	-0,79
separador - pared	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 4)	7,26	7,26	14,63

Transmisión del recinto 1 al recinto 2				
		Cálculo	Requisito	
Aislamiento acústico a ruido aéreo	D_{nTA} (dBA)	53	-	
Aislamiento acústico a ruido de impacto	$L'_{nT,w}$ (dB)	46	-	

Transmisión del recinto 2 al recinto 1				
		Cálculo	Requisito	
Aislamiento acústico a ruido aéreo	D_{nTA} (dBA)	52	50	CUMPLE
Aislamiento acústico a ruido de impacto	$L'_{nT,w}$ (dB)	59	65	CUMPLE

4.1.4 Forjados

4.1.4.1 Consideraciones acústicas

En el DB-HR del Código Técnico de la Edificación, el aislamiento acústico a ruido aéreo para los Forjados entre recintos protegidos será: $D_{nTA} \geq 50$ dBA; y cuando éstos separen recintos protegidos respecto de cuartos de instalaciones o recintos de actividad, será de $D_{nTA} \geq 55$ dBA. Las exigencias para los recintos habitables no protegidos serán $D_{nTA} \geq 45$ dBA.

Respecto de los **ruidos de Impactos** en recintos protegidos, el nivel global de presión de ruidos de impactos deberá ser $L'_{nT,w} \leq 65$ dB cuando colinde con otros recintos protegidos o habitables y $L'_{nT,w} \leq 60$ dB en el caso de colindar con recintos de instalaciones o actividad. En recintos habitables no protegidos, el nivel global de presión de ruidos de impactos deberá ser $L'_{nT,w} \leq 60$ dB en el caso de colindar con recintos de instalaciones o actividad. Los niveles descritos serán tanto para los locales que colinden vertical u horizontalmente, como para aquellos que posean una arista común con cualquier otro recinto de usuario distinto.

4.1.4.2 Análisis del elemento constructivo de proyecto

Según el proyecto, el forjado previsto está compuesto por:

- Forjado reticular de hormigón armado HA-25 y bovedilla de hormigón aligerado, 27+5.
- Recrecio de mortero de 7cm de espesor sobre membrana antiimpactos de 5mm.
- Acabado en Tarima de madera de 15mm Flotante sobre lámina antiimpactos, y gres cerámico en baños y cocina independiente.
- Por la parte de abajo del forjado, su acabado será en guarnecido y enlucido de yeso.

NOTA: En lo que a membranas anti-impactos se refiere, existen multitud de fabricantes de los que seleccionaremos principalmente 2 por poseer ensayos “in situ” que avalan su buen comportamiento acústico:

- Membrana FONOLESS IMPACTOS 60/8 con EPDM (60 Kg/m³ de densidad y 8mm de espesor.
- Membrana ETHAFOAM de 5mm de espesor. (DOW Chemical)

4.1.4.3 Ficha justificativa del aislamiento acústico de forjados entre viviendas y respecto a otros espacios

A continuación se recoge la ficha justificativa del caso más representativo de forjados entre viviendas, tanto de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos como de forjados a ruido de impactos, correspondientes a una disposición entre dormitorios.

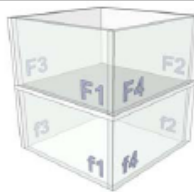
Dado el comportamiento acústico de todas las disposiciones, y teniendo en cuenta que la composición material de cubiertas se basa en el mismo forjado de base, se deduce a su vez el cumplimiento legislativo de las mismas.



Documento Básico HR Protección frente al ruido

Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo y de impactos entre recintos interiores.
Casos: Recintos superpuestos con 4 aristas comunes.

Proyecto	125viv. RESIDENCIAL ADELFA S c/ Cerro Negro, Madrid
Autor	Sara Sicilia Felipe
Fecha	18/10/2011
Referencia	FORJADO ENTRE DORMITORIOS DE VIVIENDA TIPO C, PORTAL B



Características técnicas del recinto 1							
Tipo de recinto como emisor			Unidad de uso				
Tipo de recinto como receptor			-		Volumen	18,1 m³	
Soluciones Constructivas							
Separador	R, BHA 300 mm						
Pared F1	LP 115 + RM + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Pared F2	YL 15 + AT MW 48 + YL 15						
Pared F3	Enl 15 + LP 115 + Enl 15 (valores mínimos)						
Pared F4	YL 15 + AT MW 48 + YL 15						
Parámetros Acústicos							
	S _i (m²)	l _i (m)	m' (kg/m²)	R _a (dBA)	L _{n,w} (dB)	ΔR _a (dBA)	ΔL _w (dB)
Separador	7,24	-	369	55	74	4	20
Pared F1	6	2,4	184	53	-	0	-
Pared F2	6	2,4	26	43	-	0	-
Pared F3	7	2,8	150	42	-	14	-
Pared F4	8,5	3,4	26	43	-	0	-

Características técnicas del recinto 2							
Tipo de recinto como emisor			Unidad de uso				
Tipo de recinto como receptor			Protegido	Volumen	18,1 m³		
			Soluciones Constructivas				
Separador	R BHA 300 mm						
Pared f1	LP 115 + RM + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Pared f2	YL 15 + AT MW 48 + YL 15						
Pared f3	Enl 15 + LP 115 + Enl 15 (valores mínimos)						
Pared f4	YL 15 + AT MW 48 + YL 15						
			Parámetros Acústicos				
	S _i (m²)	l _i (m)	m' (kg/m²)	R _k (dBA)	L _{n,w} (dB)	ΔR _k (dBA)	ΔL _w (dB)
Separador	7,24	-	369	55	74	2	2
Pared f1	6	2,4	184	53	-	0	-
Pared f2	6	2,4	26	43	-	0	-
Pared f3	7	2,8	150	42	-	14	-
Pared f4	8,5	3,4	26	43	-	0	-

Huecos en el separador y vías de transmisión aérea directa o indirecta			
Ventanas, puertas y lucernarios	superficie	S (m ²)	-
	índice de reducción	R_a (dBA)	-
Vías de transmisión aérea	transmisión directa	$D_{a,da}$ (dBA)	0
	transmisión indirecta	$D_{a,ia}$ (dBA)	0

Tipos de uniones e índices de reducción vibracional				
Encuentro	Tipo de unión	K_{ef}	K_{ed}	K_{er}
separador - pared	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 3)	10,48	6,22	6,22
separador - pared	Unión en + de elementos de entramado autoportante y elemento homogéneo (autoportante en 2 y 4)	33,04	21,52	21,52
separador - pared	Unión rígida en + de elementos homogéneos	16,26	9,57	9,57
separador - pared	Unión en + de elementos de entramado autoportante y elemento homogéneo (autoportante en 2 y 4)	33,04	21,52	21,52

Transmisión del recinto 1 al recinto 2				
	Cálculo	Requisito		
Aislamiento acústico a ruido aéreo	$D_{nT,A}$ (dBA)	57	50	CUMPLE
Aislamiento acústico a ruido de impacto	$L'_{nT,w}$ (dB)	55	65	CUMPLE

Transmisión del recinto 2 al recinto 1				
	Cálculo	Requisito		
Aislamiento acústico a ruido aéreo	$D_{nT,A}$ (dBA)	57	50	CUMPLE
Aislamiento acústico a ruido de impacto	$L'_{nT,w}$ (dB)	-	-	-

[illegible]

1. DISEÑO

SEPARACIÓN VIVIENDAS FABRICA CON TRASDOSOADO AUTOPORTANTE

1. Hoja de lámina
2. Espuma de separación con la hoja de lámina a 1 cm
3. Material absorbente acústico con una densidad de 40 kg/m³ y 150 mm
4. Perfilado
5. Pisos de viga laminada

CONSIDERACIONES

- El máximo de los trasdoscados autoportantes depende del ancho de la periferia metálica utilizada, la modulación o ejes de los elementos verticales y el número de placas de yeso laminado. Si fuera necesario se emplearían de forma puntual al muro de fábrica.
- Las tuberías de instalaciones se pasan entre las perfiles, procurando que queden la más recta posible y que no haya un contacto directo entre las placas y la hoja interior de lámina.
- Se emplearán cables adaptados a las placas de yeso laminado para casos de derivación y mecanismos eléctricos, tales como enchufes o interruptores.

Lana mineral o cualquier material absorbente acústico o amortiguador de vibraciones con una densidad al flujo del aire, ρ_a de 150 kg/m³

2. ENCUENTROS

ENCUENTRO CON EL FORJADO

1. Hoja de lámina
2. Espuma de separación con la hoja de lámina a 1 cm
3. Material absorbente acústico
4. Perfilado
5. Pisos de viga laminada

CONSIDERACIONES

- Los trasdoscados podrán montarse apoyados en el forjado (detalle ESI-V-Fa1) o apoyados en el suelo fáltante (detalle ESI-V-Fa2).
- El suelo fáltante no debe entrar en contacto con las particiones o pilares. Entre el suelo y los paramentos debe preverse un caso de material aislante o vado de impacto.
- En el caso del detalle ESI-V-Fa1, se el aislado se ejecutó después del trasdosoado, se interpondrá un film protector entre el aislado y las placas de yeso laminado, de tal forma que se evite que la humedad entre en contacto con las placas de yeso.
- En el caso del detalle ESI-V-Fa2, el rodapié no debe conectar simultáneamente el suelo y la partición para ello, debe colocarse una junta elástica en la base del rodapié, por ejemplo, un cordón de silicona.
- Las tuberías que discurren por el suelo y llegan a la partición están envueltas con caudales un material elástico. Por ejemplo, caudales de espuma PE o espuma elastomérica.
- Los detalles ESI-V-Fa1 y ESI-V-Fa2 corresponden a suelos de madera, tipo PDI. Los mismos detalles serán válidos para la solera seca o la horma fáltante.
- Los detalles relativos a los suelos fáltantes y a sus especificaciones de montaje están recogidos en las apostillas PDI, así como las detalles relativos a las particiones empotradas en el suelo. ESI-V-Fa3 SECCIÓN
- Se recomienda ejecutar primero el elemento de separación entre unidades de uso diferentes, para después ejecutar el suelo fáltante. De esta forma, puede asegurarse que el suelo fáltante se independice entre unidades de uso. La lámina puede ejecutarse indistintamente sobre el suelo fáltante o sobre el forjado.

ENCUENTRO CON PLARES

1. Hoja de lámina
2. Espuma de separación con la hoja de lámina a 1 cm
3. Material absorbente acústico
4. Perfilado
5. Pisos de viga laminada

CONSIDERACIONES

- Cuando un pilar adose al elemento de separación vertical de tipo 1, se trasdoscará ambos caras del pilar o se adaptará una disposición similar a la recogida en el detalle ESI-V-P2

ENCUENTRO CON CONDUCTOS DE INSULACIONES

1. Hoja de lámina
2. Espuma de separación con la hoja de lámina a 1 cm
3. Material absorbente acústico
4. Perfilado
5. Pisos de viga laminada

CONSIDERACIONES

- Cuando un conducto de ventilación se adosa a un elemento de separación vertical, la hoja de fabrica debe ser continuo y se trasdoscará el conducto, de tal forma que se garantice la continuidad de la solución constructiva.
- Las perfiles deben contar con un trasdosoado similar al empleado en los elementos de separación verticales.
- En el caso de que dos unidades de uso, comparten el mismo conducto de extracción, las bocas de extracción no estarán conectadas al mismo conducto, para evitar la transmisión silero directa, como en el detalle ESI-V-C2.

TRASDOSOADO FACHADA

ENCUENTRO CON FACHADA NO VENTILADA (hoja exterior de fábrica y hoja interior de entramado)

1. Hoja de lámina
2. Espuma de separación con la hoja de lámina a 1 cm
3. Material absorbente acústico
4. Perfilado
5. Pisos de viga laminada

CONSIDERACIONES

- La cámara se interrumpe entre las dos unidades de uso. La hoja interior de la fachada no será continua y no conectará las dos unidades de uso.

Proyecto de Ejecución de 81 Viviendas, Trasteros, Piscinas y Garaje en la calle Embajadores, Parcelas RCL 2.1, 2.2 y 3.3. Madrid.

Diciembre 2011

DET-006

4.2 Instalaciones

Los materiales que se prescriben para las distintas soluciones de atenuación acústica, son los que nos garantizan (después de haberse podido comprobar en numerosos ensayos realizados por laboratorios acreditados) una buena eficacia aislante, no planteando dificultades en su correcta instalación, cuestión de máxima importancia para lograr su mayor efectividad. A este respecto, se tratará siempre de unificar criterios en cuanto a la utilización y fabricantes de materiales para las distintas soluciones acústicas y simplificar de esta manera, tanto su puesta en obra como su suministro.

4.2.1 Instalaciones individuales

Respecto a éstas, indicaremos aquellos elementos que por su ubicación y naturaleza, son susceptibles de transmitir ruidos a las viviendas ya sea éste por vía aérea o estructural.

4.2.1.1 Saneamiento

Manquetonnes de inodoros, desagües y bajantes

Los manguetones de los inodoros y su derivación a bajante, que descuelguen por debajo del forjado sobre el falso techo del baño o aseo de la vivienda subyacente, y siempre que éstas sean de PVC (aunque sean de las denominadas “insonorizadas”), deberán ser tratadas acústicamente dado que por sí mismas, no son capaces de aislar lo suficiente como para Cumplir con las exigencias de la legislación a este respecto. Solo las de Fundición, pueden ir sin tratamiento específico.

FORRO ACÚSTICO. Los tratamientos para estos casos, se basan en **forrar** con láminas flexibles que aporten la masa suficiente como para reforzar el cuerpo de PVC de estas tuberías aislando el ruido que se genera principalmente, por el impacto sobre el primer codo, de las descargas de cisterna.

Tan importante como el forro anterior, es la **desolidarización** de la tubería en su paso a través del forjado, para lo que el mismo tratamiento anterior, actuará de “colchón” entre la tubería y el forjado, eliminando el contacto rígido entre ambos.

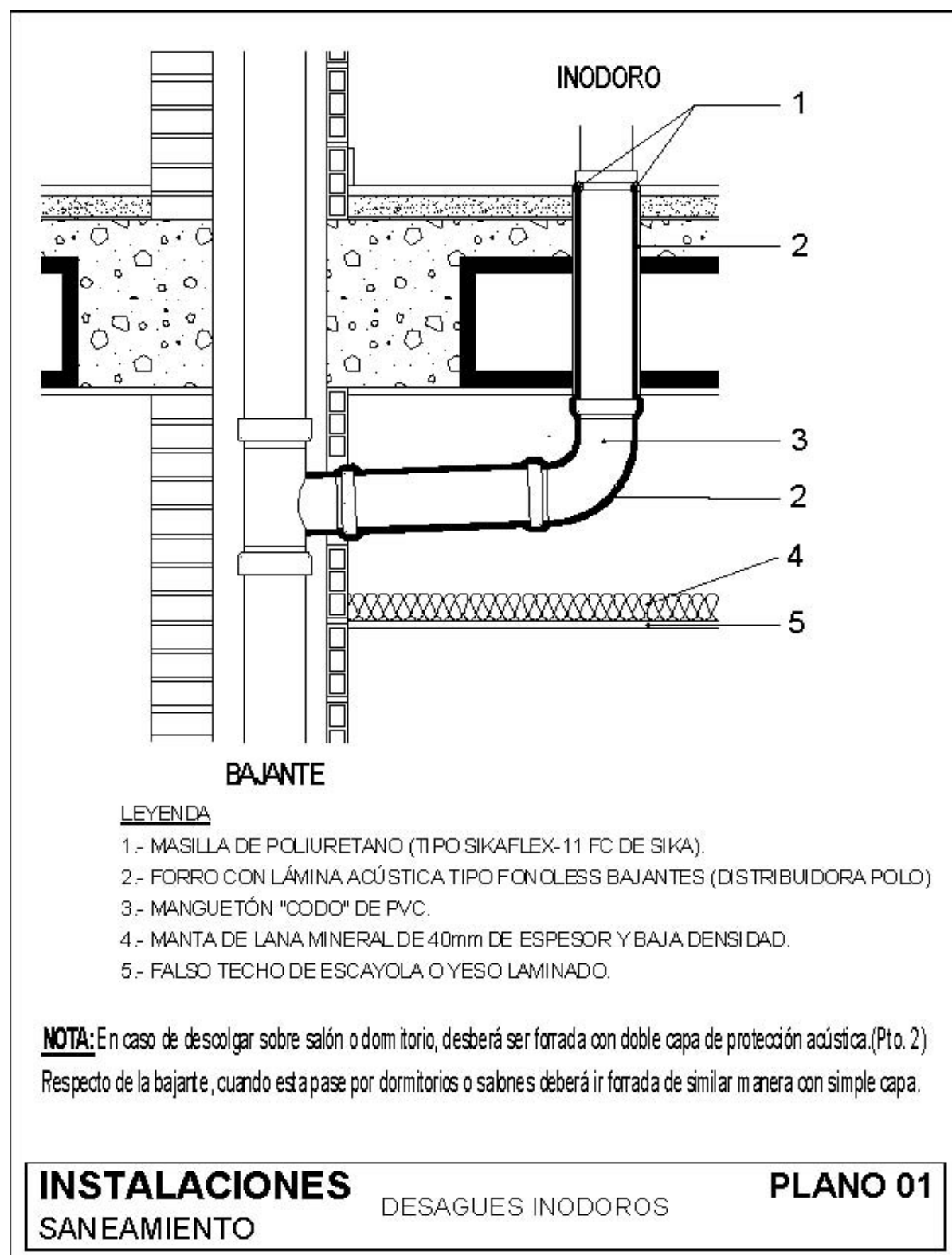
En los casos que descuelguen sobre cuartos de baño, llevarán una capa de estos materiales forrando el codo y tramo de tubería horizontal hasta bajante.

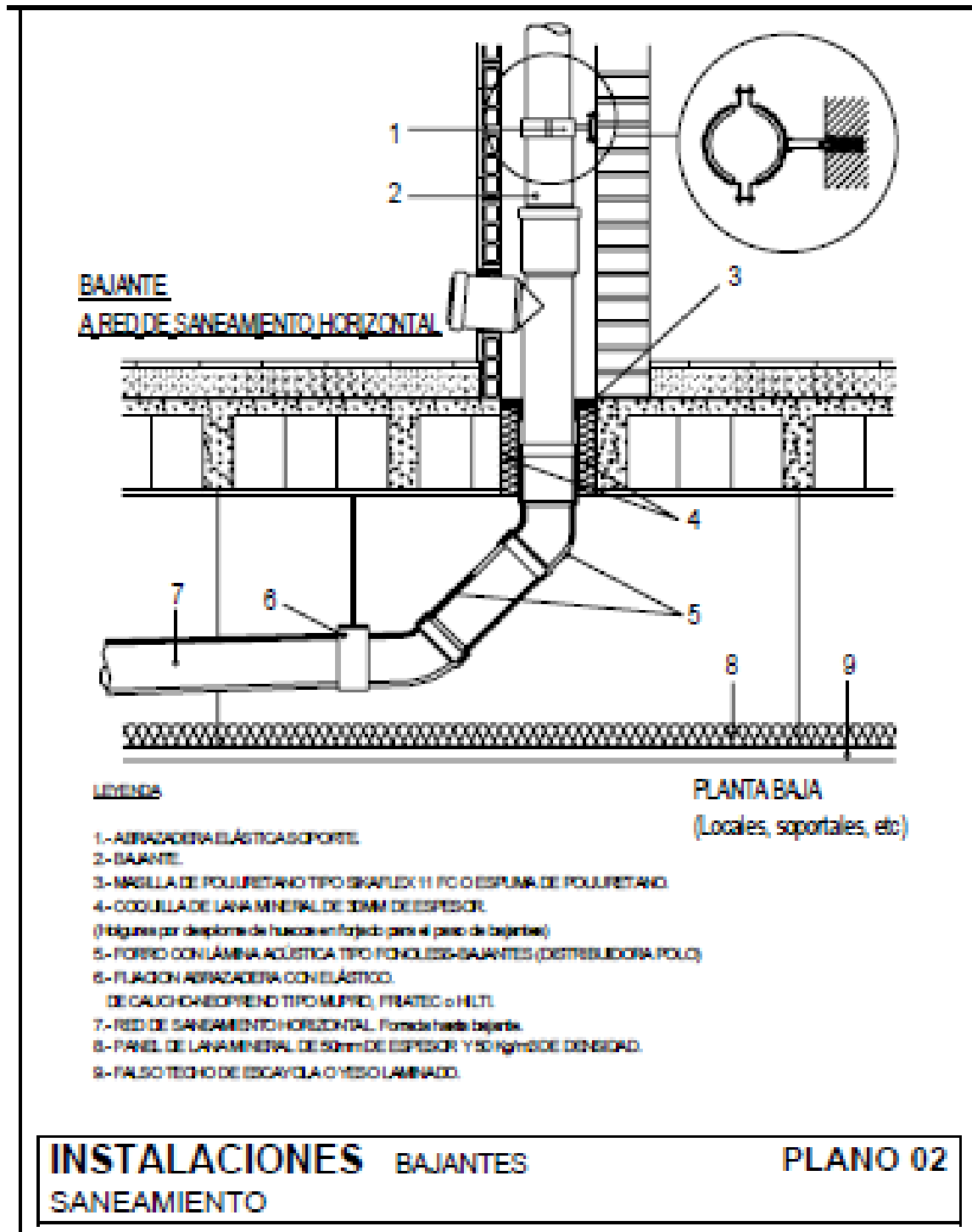
En los casos que descuelguen sobre dormitorios o salones, llevarán doble capa. También se dispondrá de doble capa, en los casos en los que el desagüe de la terraza de Ático descuelgue sobre salón o dormitorio del piso de abajo, para lo que la tubería horizontal que discorra hasta la bajante, deberá llevar este forro.

En todos los casos, el tramo recto de tubería que atraviesa el forjado, llevará una capa de forro acústico, comprobándose siempre, que el PVC no tenga contacto rígido con el forjado.

Para las bajantes de PVC que pasen por Salas de Descanso, como pudieran ser Salones o Dormitorios, deberán llevar el mismo tratamiento anteriormente indicado en toda su longitud.

Para atenuar los ruidos de transmisión estructural (ya sean utilizadas tuberías de fundición o PVC), los anclajes o sujeciones a forjados y muros de todas ellas, deberán realizarse elásticamente con bridas o abrazaderas provistas de forro interior en caucho de dureza no superior a 55 Shores. Las derivaciones a la red horizontal de saneamiento que suele discurrir por los falsos techos de los locales de planta baja, portales, etc. y hasta la vertical que la lleva a la arqueta correspondiente, deberán realizarse mediante **codos de 45º o Curvos de mayor radio**, evitándose siempre los de 90º. Además, tales codos deberán reforzarse acústicamente con los materiales anteriormente indicados, y para los casos en los que recibe el impacto de vertidos desde alturas superiores a 2 plantas, deberán llevar un tratamiento especial de mayores prestaciones, el cual se definirá “in situ”.



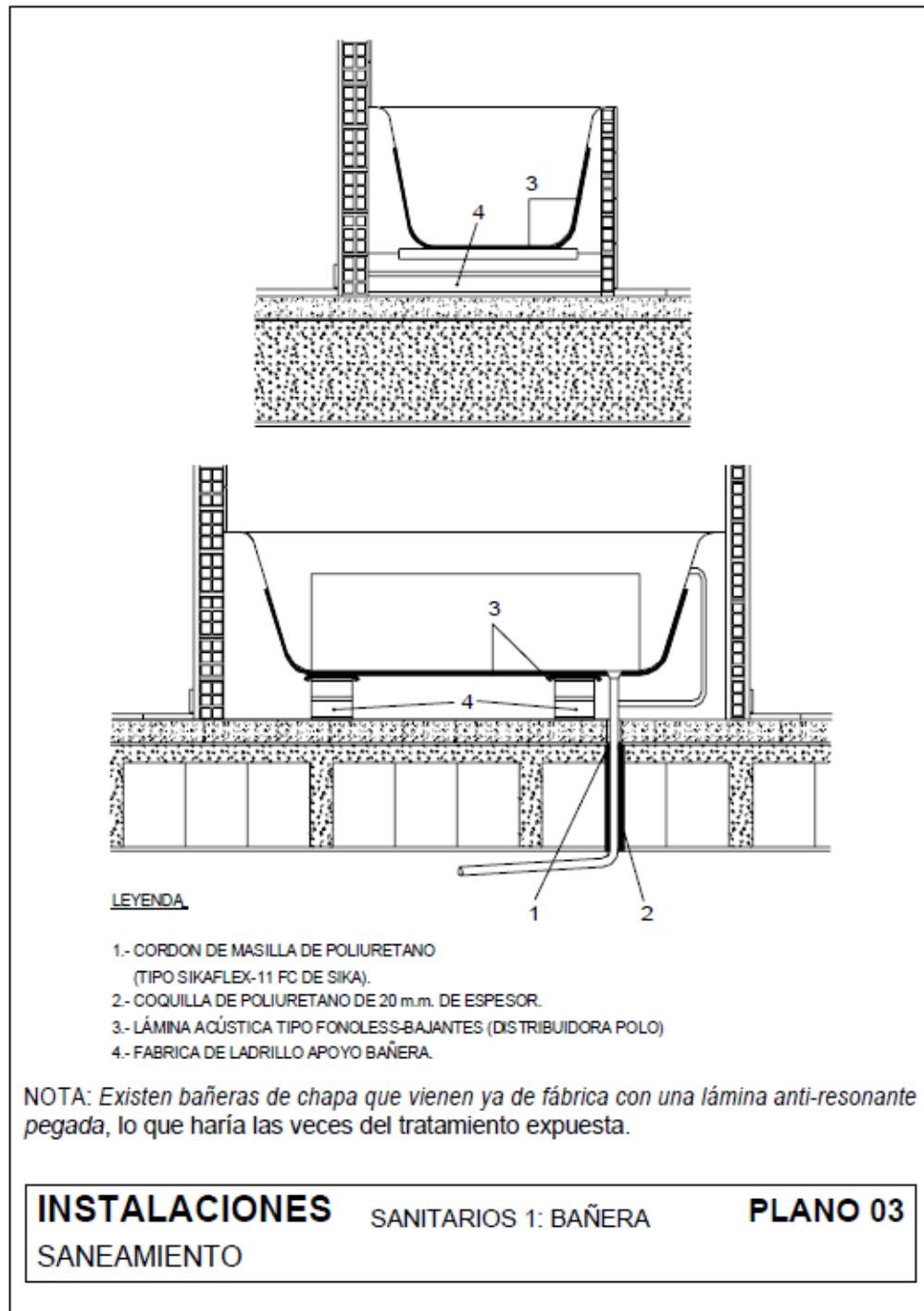


4.3.1.2 Sanitarios

Bañeras y Duchas

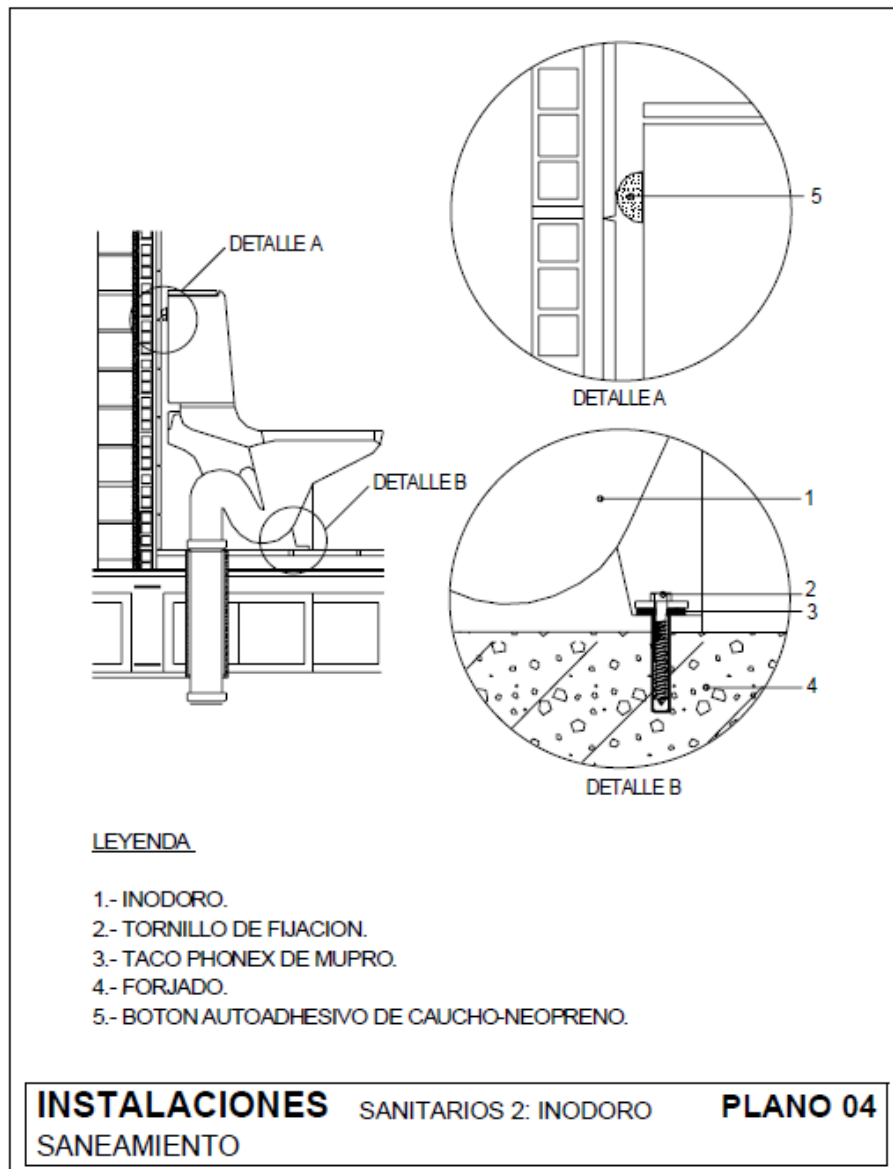
Las Bañeras y platos de ducha, en caso de disponer de carcasa metálica, proponemos sea tratada con el mismo material con que se trataron las bajantes, el cual, al venir provisto de adhesivo, quedará completamente pegado a ésta, evitando la excitación libre de la carcasa de chapa al ser golpeada con el agua de la ducha, y por consiguiente conseguiremos una atenuación de su vibración.

Al mismo tiempo, y dado que estos sanitarios irán apoyados sobre el suelo flotante general de la vivienda, se deberá prestar especial cuidado en su ejecución en estas partes para evitar puntos rígidos que debiliten su eficacia aislante.



Inodoros y Bidés

En ambos casos se recomienda que su anclaje al suelo se realice a través de tacos elásticos, y el apoyo de la cisterna sobre el muro, mediante botones o topes de caucho, los cuales pueden encontrarse autoadhesivos.



4.3.1.3 Tuberías de Calefacción

Las tuberías de calefacción, deberán ir protegidas por tubo flexible de PVC, con el fin de evitar su rigidización con el recredido de mortero posterior, y se recomienda que estas vayan sobre la membrana anti-impactos y se dispongan en su recorrido, junto a los tabiques, evitando cruces en diagonal por el centro de las salas.

Su colocación deberá ser tal que se garantice la continuidad de la lámina antiimpactos en toda la superficie de vivienda.

4.3.1.1 Ventilación de viviendas

Se prevé la instalación de unos ventiladores extractores en la Cubierta del Edificio, 2 uds. por núcleo de escalera. Los equipos seleccionados, son de S&P, mod. CACT-T 070-C2-PI.

El nivel de presión sonora “radiado” que genera este ventilador a 4m de distancia, según el fabricante, es de entorno a 45 dB A medios (en función del caudal y régimen de trabajo, este varía en ± 2 dB A).

Con este nivel de ruido, no será necesario apantallar el equipo, dado que simplemente el Ruido de Fondo ambiental de la zona, será superior siempre a este nivel, incluso en periodo Nocturno, por lo que se CUMPLE con la legislación a este respecto.

En Conducto de aspiración, el nivel de potencia acústica es de entorno a 74 dB A medios (también según datos del fabricante), por lo que las viviendas más próximas a las que sirve el ventilador, se verán especialmente afectadas por proximidad.

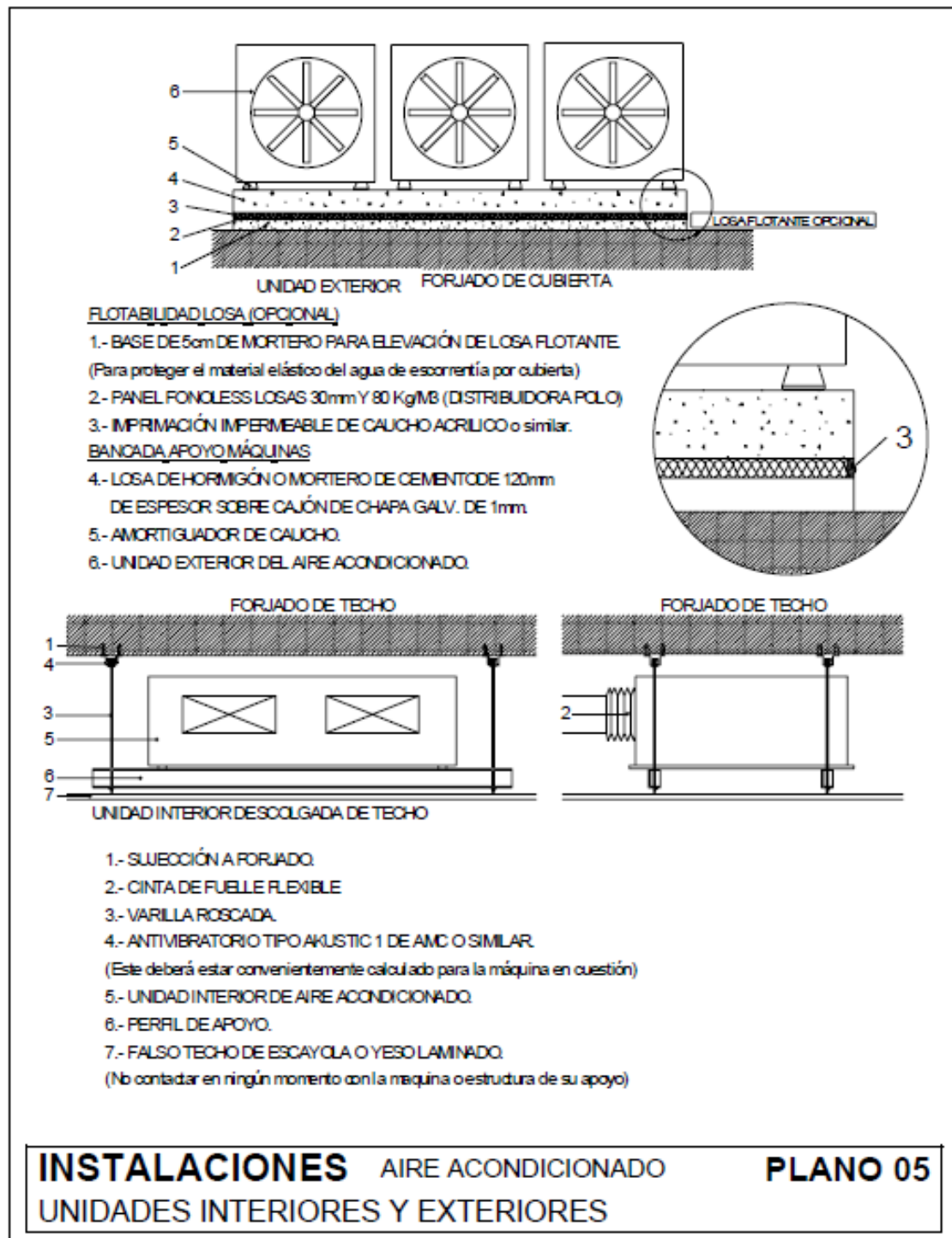
En función de la longitud de los conductos, sección de los mismos y material con el que estén realizados, se deberá prever el silenciador necesario para garantizar que no se transmitan niveles de presión sonora en vivienda superiores a los exigidos por la legislación (35 dB A en cocinas y baños).

Dado que en ocasiones, el propio fabricante suministra el silenciador adecuado a la instalación para garantizar no superar los niveles de ruido máximos exigidos, en su momento, se estudiará su conveniencia.

4.3.1.1 Aire acondicionado

Dado que lo que se prevé es únicamente una “Preinstalación”, daremos una serie de recomendaciones generales para las instalaciones individuales:

- Las unidades exteriores, deberán ir provistas de elementos amortiguadores específicos para ellas, e irán situadas en lugar distanciado suficientemente de ventanas o terrazas de viviendas para evitar que el ruido generado se transmita con elevados niveles.
- La unidad interior, deberá ser instalada también apoyada o descolgada del forjado con los amortiguadores apropiados, para evitar, de igual manera que en el caso anterior, transmisión de ruido por vibración a las viviendas colindantes.
- En ambos casos, se deberán seleccionar unidades silenciosas tanto para evitar elevados niveles de ruido al exterior, como para el interior (ruido transmitido a través de los conductos hacia las dependencias de la propia vivienda. Debe ser, al menos en velocidad baja, de entorno a 30 dBA).



4.3.2 Instalaciones comunitarias

Respecto a éstas, como en el caso anterior, indicaremos aquellas que por su ubicación y naturaleza son susceptibles de transmitir ruidos a las viviendas:

4.3.2.1 Ascensores

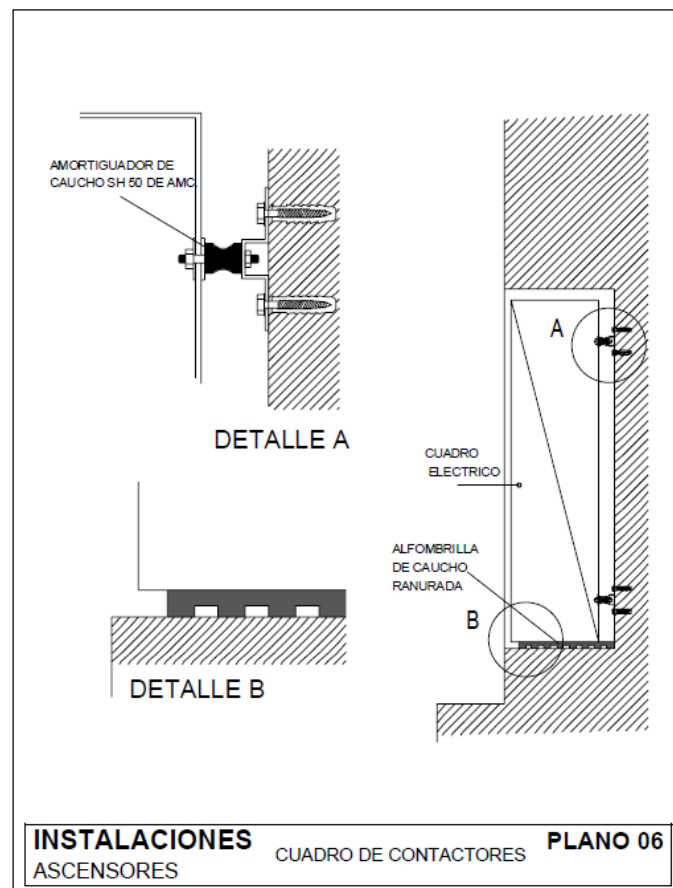
- **Maquinaria:** Este tipo de instalaciones, precisan que sean instaladas de manera flotante para evitar la transmisión de ruido por vibración al edificio. El motor es la principal causa de transmisión de ruidos por vibración, y por ello, deberá instalarse con sus elementos de amortiguación necesarios. Éstos, deberán ser

seleccionados convenientemente en función de las características y tipo de maquinaria, para garantizar el máximo rendimiento de aislamiento acústico.

Dado que en nuestro caso, el ascensor a instalarse es de los que llevan el motor dentro del propio hueco, corresponderá al fabricante de los ascensores, garantizar que su instalación cumplirá con la legislación en lo que a ruidos y vibraciones se refiere, aplicando ellos mismos las soluciones antivibratorias que consideren más apropiadas para sus equipos, tanto de los motores como de las guías en caso de ser necesario.

- Respecto del **Hueco de ascensor**, ya se ha demostrado anteriormente que su cerramiento posee el aislamiento acústico suficiente como para CUMPLIR con margen, las exigencias del DB-HR
- **Cuadros eléctricos:** Los impactos de los relés o contactores de los cuadros eléctricos, generan ruido que puede ser transmitido vía estructural, a las viviendas más próximas.

Para resolver este problema, se deberán instalar elásticamente los cuadros eléctricos respecto al muro donde vayan a ser anclados mediante elementos de caucho, pudiendo éstos ser de la firma AMC o VIBRACHOC, las cual poseen una gran variedad de este tipo de elementos.



4.3.2.2 Sala de Ventilación forzada de Garajes

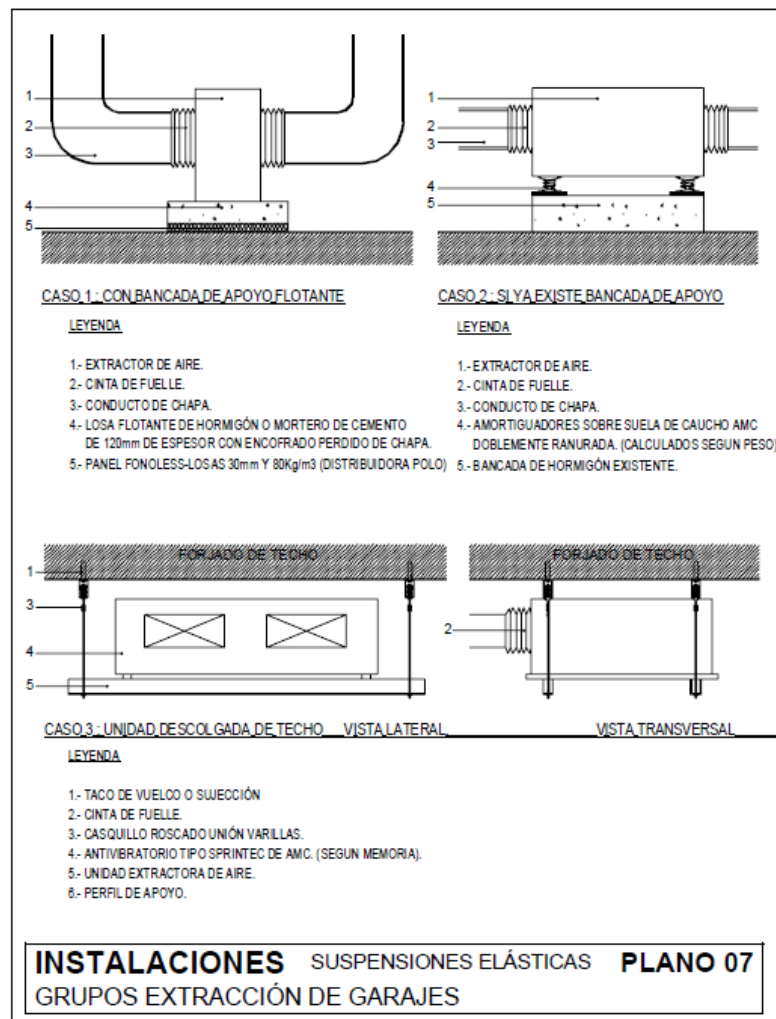
La ventilación necesaria para la extracción de humos de los garajes, se realiza a través de ventiladores, los cuales aspiran del interior del recinto y expulsan al exterior por chimeneas conducidas hasta cubierta.

Con respecto al cerramiento del patinillo donde se ubica el conducto, no se precisan medidas de refuerzo acústico especiales pues el previsto CUMPLE con lo establecido por el CTE.

En función de la ubicación de los ventiladores extractores y de su potencia acústica emitida, se estudiará la necesidad de introducir silenciadores tanto en su expulsión como en su aspiración, e incluso apantallado del grupo.

Además, se deberá realizar la instalación, teniendo en cuenta lo siguiente:

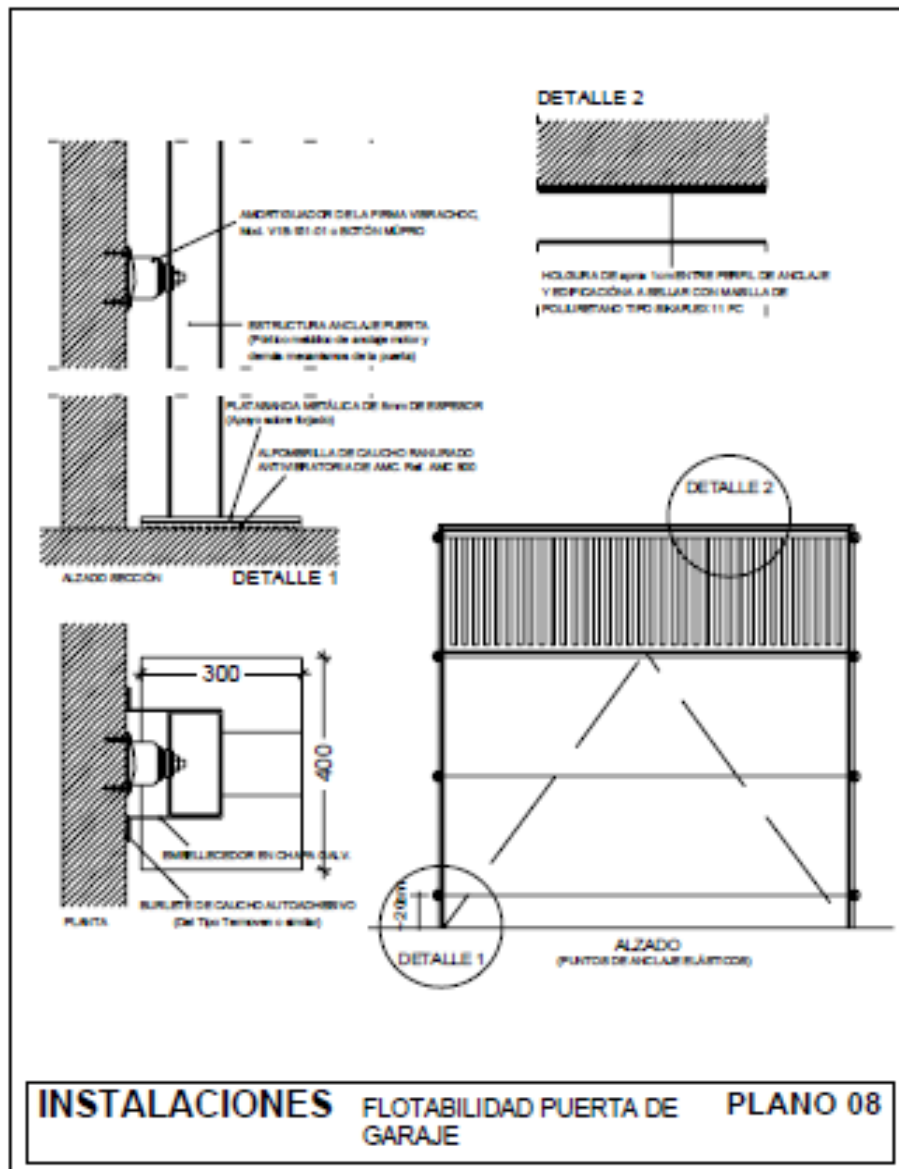
- El encuentro de los conductos, tanto de aspiración como en la expulsión en su caso, respecto a la carcasa del ventilador, deberá ir provisto de “cinta de fuelle flexible” con el fin de desolidarizar éstos respecto de la vibración producida por la máquina durante su funcionamiento.
- El apoyo de los ventiladores se realizará sobre elementos amortiguadores, calculados en función de su peso y número de revoluciones y con una frecuencia de resonancia que esté por debajo de los 5 Hz. También podría adoptarse una solución de losa flotante, en función de la magnitud de vibración generada por el ventilador extractor a instalarse.



4.3.2.3 Puerta de Garaje

En general, se debe realizar una **instalación elástica** de las puertas de garaje para evitar transmisiones estructurales de ruido en su apertura y cierre, fundamentalmente porque éstas tienen un uso las 24 horas del día, y en el periodo nocturno los ruidos son más fácilmente detectados en ambientes de fondo bajos. Esto es especialmente importante en este proyecto, dada la ubicación de las puertas de acceso y salida de garajes con respecto a vivienda.

Para ello, se desolidarizará su estructura de anclaje respecto de la edificación a través de elementos elásticos de caucho del tipo “BOTÓN PHONOLYT” de la firma MÜPRO, evitándose así toda transmisión de ruido a la estructura del edificio por vibración.



4.3.2.4 Grupos de Presión

Estos grupos se ubican en una Sala, la cual no colinda con viviendas pues se encuentra en Sótano 3.

Por este motivo, el tratamiento acústico para ellos se reduce a dar flotabilidad a las bombas, abrazaderas elásticas de sujeción de tuberías, y apoyo elástico de depósitos para evitar la posible transmisión de ruidos por vibración, a las viviendas de Planta Baja principalmente.

Los amortiguadores deberá suministrarlos el propio fabricante de las bombas, y al igual que en los casos anteriores, ser calculados en función del peso y número de revoluciones del motor, para garantizar una frecuencia de resonancia por debajo de 7 Hz.

4.3.2.5 Depuradora de piscina

La sala donde se ubica esta instalación, queda fuera de lo que es el bloque edificatorio, por lo que no colinda ni vertical ni horizontalmente con viviendas ni zona próxima a ellas.

Por este motivo, bastará con instalar las Bombas de la depuradora de manera flotante similar a lo indicado para los grupos de presión.

4.3.2.6 Cuarto de basuras

Por colindar tanto vertical como horizontalmente con viviendas, todo ruido que se genere por el arrastre de los Cubos de basura por su suelo, e impactos esporádicos contra paredes, será transmitido a las viviendas en mayor o menor medida, por lo que en este caso se recomienda tratar el suelo y paredes de esta Sala de la siguiente manera:

Suelo Flotante:

El suelo flotante indicado para las viviendas de esta Planta baja, se realizará igualmente para este Cuarto de la siguiente manera:

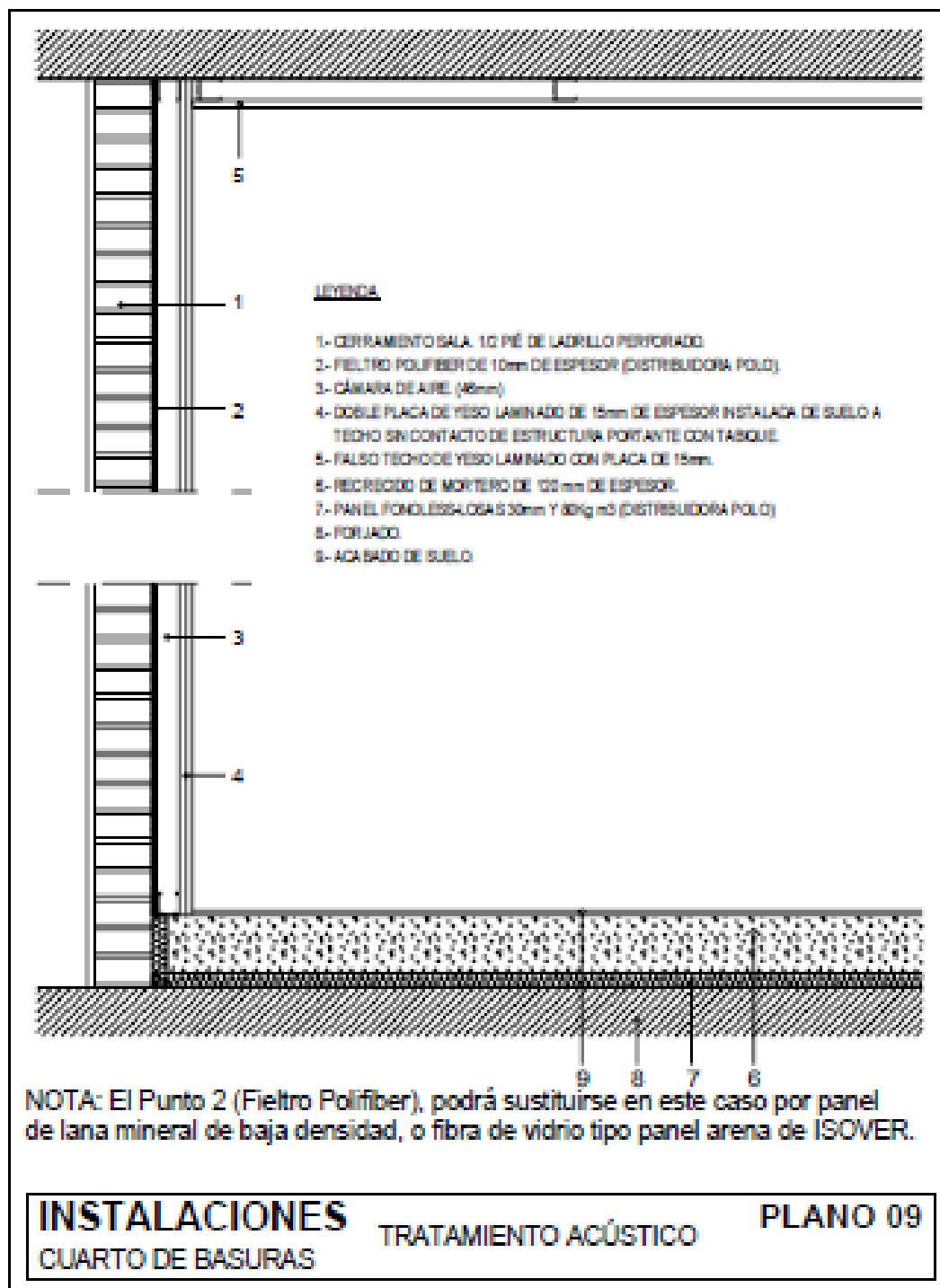
- Membrana anti-impactos Fonoless impactos 60/15 provisto de EPDM (60 Kg/m³ de densidad y 15mm de espesor),
- Recrecido de mortero de 100mm de espesor. (A diferencia de las viviendas de esta planta, en este cuarto no se coloca el panel de Poliestireno extrusionado de 3cm previsto, aumentando en su lugar, el espesor del recrecido de mortero).

Paredes:

Para evitar que posibles impactos sobre las paredes de este cuarto, sean transmitidos a las viviendas, se recomienda sean trasdosadas sus paredes con doble placa de yeso laminado 15 + 15mm, y la estructura portante de ellas, instalada con tacos elásticos Phonex de la firma MÜPRO.

Techo:

Aunque este forjado Cumpla con las exigencias del DB HR ($D_{nTA} \geq 55$ dB A), se recomienda, como margen de confianza, un refuerzo por medio de un trasdosado de yeso laminado con placa de 15mm y estructura de 46mm.



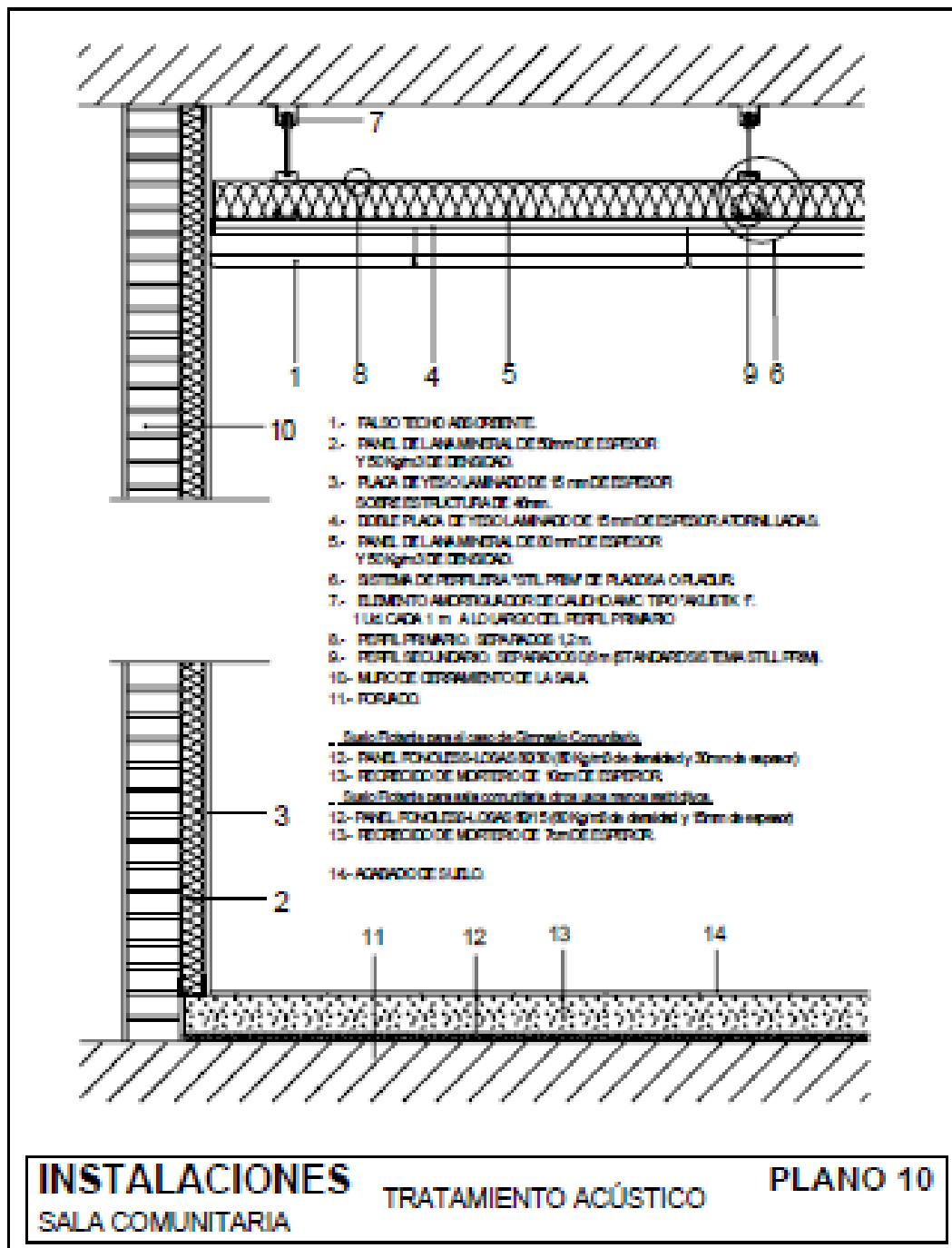
4.3.2.7 Sala Comunitaria

De similar manera que en el caso anterior, se deberá tratar esta Sala para posibilitar ciertas actividades propias de salas de este tipo, recomendando como opción en este caso, un refuerzo mayor del techo de la manera siguiente:

Techo flotante:

Doble placa de yeso laminado de 15mm, atornilladas a estructura de chapa galvanizada, descolgada de amortiguadores del tipo Akustic 1 de AMC.

Como mejora en la confortabilidad acústica de esta sala, se recomienda también, además del techo flotante anteriormente indicado, un falso techo absorbente del tipo Rockfon Ekla con perfilera vista.



5 REFERENCIAS

- **Ley 37/2003** del Ruido. Dicha Ley es la transposición de la Directiva Europea sobre Evaluación y gestión del ruido ambiental y tiene como objetivo básico la prevención, vigilancia y reducción de la **contaminación acústica ambiental**2 producida por emisores acústicos de cualquier índole.
- **RD 1513/2005**, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión de ruido ambiental.
- **RD 1367/2007**, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- **REAL DECRETO 1371/2007**, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico«DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de La Edificación.
- Guía de aplicación del DB HR protección frente al ruido.

Rehabilitación acústica de soluciones cerámicas mediante el tratamiento de sus uniones

M^a Teresa Carrascal García

Arquitecto. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC

Amelia Romero Fernández

Ingeniero de Telecomunicaciones. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC

Belén Casla Herguedas

Ingeniero Técnico Agrícola. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC

Palabras clave: aislamiento acústico, rehabilitación, uniones, transmisiones por flancos, K_{ij} .

Resumen

Actualmente gran parte de las intervenciones en edificios de viviendas tienen como fin la adaptación del edificio a las condiciones de accesibilidad o la rehabilitación energética de su envolvente y de sus instalaciones, y pocas veces se contempla la rehabilitación acústica, sin embargo, cualquier intervención puede ser una buena oportunidad de mejorar las deficientes condiciones acústicas de los edificios existentes.

Esta ponencia ahonda en las posibilidades de mejora acústica de los edificios utilizando trasdosados de ladrillo sobre bandas elásticas. La mayoría de los edificios existentes están contruidos con fábricas, en muchos casos de ladrillo, y en estos edificios pueden emplearse las técnicas explicadas en la ponencia, con las que se prueba que puede elevarse el aislamiento acústico a ruido aéreo de particiones hasta los niveles del CTE, siempre que las uniones estén bien diseñadas y bien ejecutadas.

Esta ponencia describe el trabajo experimental realizado en la Unidad de Calidad en la Construcción del Instituto Eduardo Torroja sobre aislamiento acústico entre recintos y la influencia de la forma de unión entre particiones y otros elementos de flanco, en este caso las fachadas y la tabiquería. Está dividido en dos fases: La primera trata sobre aislamiento acústico y las mejoras de aislamiento acústico a trasdosar con fábrica. La segunda incide en el estudio de las transmisiones por flancos en las uniones.

1 INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de crisis económica en el que se ha producido un descenso significativo de la obra nueva, algunas empresas del sector de la construcción han reorientado su actividad hacia la rehabilitación. La administración también intenta fomentar la rehabilitación del parque de viviendas con leyes como la Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas. De hecho, motivado por las subvenciones, la mayoría de las intervenciones en edificios existentes tienen como fin la adaptación del edificio a las condiciones de accesibilidad o la rehabilitación energética de su envolvente y de sus instalaciones, y pocas veces se contempla la rehabilitación acústica, sin embargo, cualquier intervención puede ser una buena oportunidad de mejorar las deficientes condiciones acústicas de los edificios existentes, especialmente si se tiene en cuenta que según la encuesta de condiciones de vida de 2012 del INE, el 15% de los hogares españoles se queja de problemas de ruidos producidos por sus vecinos o en el exterior de sus viviendas, por delante de otros problemas como la delincuencia, el vandalismo o la contaminación.

Para hacerse una idea del aislamiento acústico del parque de viviendas español, aproximadamente un 56,8 % de las viviendas totales en España son anteriores a la NBE CA 81 y sólo un 1% del número total de viviendas fue construido después de la aprobación en el 2009 del Documento Básico de Protección frente al ruido DB HR, lo que implica que la mayor parte de las construcciones tienen un aislamiento acústico bastante inferior al exigido actualmente y que probablemente sea insuficiente para garantizar la privacidad o el confort.

Esta ponencia describe el trabajo experimental realizado en la Unidad de Calidad en la Construcción del Instituto Eduardo Torroja sobre aislamiento acústico entre recintos y la influencia de la forma de unión entre particiones y otros elementos de flanco, en este caso las fachadas y la tabiquería. Está dividido en dos fases: La primera trata sobre aislamiento acústico y las mejoras de aislamiento acústico a trasdosar con fábrica. La segunda incide en el estudio de las transmisiones por flancos en las uniones.

Esta ponencia trata de las posibilidades de rehabilitación de los edificios utilizando fábricas de ladrillo sobre bandas elásticas. La mayoría de los edificios existentes están contruidos con fábricas, en muchos casos de ladrillo, y en estos edificios pueden emplearse las técnicas explicadas en la ponencia, con las que se prueba que puede elevarse el aislamiento acústico a ruido aéreo de particiones hasta los niveles del CTE, siempre que las uniones estén bien diseñadas y bien ejecutadas.

Por otro lado, existe un gran interés por los métodos de cálculo de aislamiento acústico en los edificios, ya que son una herramienta de diseño para los proyectistas. El CTE recoge un procedimiento de cálculo que está basado en la UNE EN 12354 y que toma como partida los valores de aislamiento de los elementos constructivos de laboratorio, junto con la masa y las condiciones de las uniones, caracterizadas por el índice de reducción vibracional, K_{ij} . Este índice está relacionado con la potencia vibratoria transmitida entre distintos elementos constructivos. Esta ponencia también mostrarán los resultados de K_{ij} de diferentes montajes y su relación con los valores propuestos por la UNE EN 12354 – 1.

2 EL AISLAMIENTO ACÚSTICO EN LOS EDIFICIOS EXISTENTES

La construcción de los siglos pasados hasta aproximadamente 1940 está marcada por estructuras de muros de carga de fábrica, mampuesto, sillería, tapial, adobe, etc., incluidos también los muros de entramado de madera a base de pies derechos y carreras que están rellenos de piedra, ladrillo, etc. En este periodo las particiones suelen tener más de 1 pie de espesor (25 cm), su aislamiento acústico a ruido aéreo es aceptable, suficiente como para no causar molestias graves cuando se trata de una actividad vecinal normal. Los forjados solían ser bóvedas de ladrillo o piedra o de madera con el entrevigado relleno con yesones o rasillas cerámicas. Previo a la colocación del pavimento, solía colocarse una o varias camas de arena y mortero de agarre, lo que confiere una mayor masa y por tanto, más aislamiento acústico a ruido aéreo. La existencia de un falso techo de cañizo o escayola también mejora el aislamiento acústico a ruido aéreo, pero el aislamiento a ruido de impacto suele ser deficiente.

Durante el siglo XX, las estructuras de los edificios experimentaron una gran evolución morfológica. Durante el primer cuarto se empiezan a emplear las estructuras reticulares de acero, pero es partir de los años 40 cuando

se extienden las estructuras de pilares y vigas de hormigón armado, en los que los muros de fábrica pierden su función portante para ser simplemente divisiones que se insertan en la estructura del edificio. De esta forma, se aligeran y afinan las particiones, con la correspondiente disminución de aislamiento acústico. Generalmente, las particiones entre unidades de uso diferentes están formadas por una única hoja de ladrillo hueco de 60 a 120 mm y su aislamiento acústico a ruido aéreo suele ser deficiente y es precisamente en este tipo de edificios a los que se le puede aplicar los trasdosados cerámicos como una forma de rehabilitación acústica.

En este periodo, los forjados de hormigón son habituales, ya sea con entrevigado metálico, como con viguetas de hormigón. El aislamiento acústico a ruido aéreo depende fundamentalmente de su masa, de tal forma, que a menos que trate de un forjado muy ligero, por ejemplo, un forjado de menos de 250 kg/m^2 , el aislamiento a ruido aéreo es aceptable. El problema de los forjados en la edificación española es su aislamiento acústico a ruido de impactos, que suele ser deficiente y el mejor modo de aumentarlo consiste en colocar sobre la cara superior del forjado un suelo flotante o una lámina elástica, siempre que la naturaleza de la intervención lo permita.

En 1981 se aprueba la primera normativa que establece valores mínimos de aislamiento acústico en los edificios: la Norma Básica de la Edificación NBE CA 81 sobre condiciones acústicas, modificada posteriormente en 1988. Los valores de aislamiento acústico exigidos eran $R_A \geq 45 \text{ dBA}$ y $L_{n,A} \leq 80 \text{ dBA}$ para ruido aéreo y para ruido de impactos respectivamente. Los índices empleados en esta norma expresan el aislamiento acústico de los elementos constructivos en laboratorio: Índice de reducción acústica, R_A para ruido aéreo y nivel de ruido de impactos normalizado, $L_{n,A}$, para ruido de impactos. Esta norma supuso una mejora ligera del aislamiento acústico de las particiones verticales, que para cumplir con la exigencia establecida debían tener una masa por unidad de superficie de al menos $200 - 250 \text{ kg/m}^2$. Las particiones más comunes eran el muro de medio pie perforado y enlucido por las dos caras, y el tabique de dos hojas de ladrillo hueco de 70 mm – 110 mm de espesor cada una.

Sin embargo, al tratarse de índices que expresan aislamiento acústico de elementos constructivos obtenidos en laboratorio, no existía una correlación entre el aislamiento acústico medido in situ y los valores de aislamiento acústico exigidos en la norma básica NBE CA 81 y posterior NBE CA 88, por lo que el aislamiento acústico in situ era siempre menor que el valor exigido, y dependiendo de las condiciones de ejecución, este aislamiento seguía siendo deficiente.

En 2009 año se aprueba el Documento Básico DB HR Protección frente al ruido y se exige a los edificios un aislamiento acústico tanto a ruido aéreo como de impactos mayor. Sin embargo, el DB HR entra en vigor en el inicio de la crisis en el sector de la construcción, cuando se produce un descenso notable de la obra nueva, de tal forma que aproximadamente sólo 270.000 de las viviendas cumplen las exigencias del DB HR, lo que implica que la mayoría de las viviendas españolas tienen un aislamiento acústico deficiente.

3 ENSAYOS DE AISLAMIENTO ACÚSTICO REALIZADOS

3.1 EL AISLAMIENTO ACÚSTICO EN LOS EDIFICIOS

A diferencia de lo que ocurre con el aislamiento acústico obtenido en un laboratorio de ensayos acústicos, el aislamiento acústico en los edificios, depende de varios factores que son:

- **El tipo de elemento de separación** interpuesto en los recintos, ya que a través del mismo, se produce la transmisión directa de ruido entre dos recintos.
- **Las uniones entre los elementos constructivos**, ya que estas determinan las transmisiones indirectas, producidas por las vibraciones que se transmiten entre los elementos constructivos que están en contacto y que ocasionan una pérdida de aislamiento que puede ser superior a los 5 dB. El campo acústico produce en los elementos constructivos una serie de vibraciones que no quedan confinadas en el elemento constructivo, sino que se disipan en parte en forma de calor, y en parte se transmiten por vía sólida a los elementos constructivos adyacentes. Ya sea desde el elemento de separación a un

elemento de flanco (Df), desde un elemento de flanco al elemento de separación (Fd) o a través de los flancos. (Ff). Las transmisiones indirectas dependen del tipo de elementos constructivos de flanco, sus masas y de sus formas de unión entre sí. La figura 7 muestra las transmisiones indirectas que se producen entre dos recintos.

- **La ejecución de los elementos constructivos.** Cuando la ejecución de algunos elementos clave como por ejemplo, las bandas elásticas, el sellado de las rozas o de las placas de yeso laminado o las láminas antiimpacto, no es adecuada, es probable que las prestaciones finales no sean las esperadas.

Como consecuencia, la buena elección de elementos de separación, no es suficiente para cumplir las exigencias normativas, ya sea el Documento Básico DB HR Protección frente al Ruido o las ordenanzas municipales, si las uniones no están bien diseñadas y si la ejecución no es la correcta.

3.2 ENSAYOS DE AISLAMIENTO ACÚSTICO REALIZADOS

En la primera fase de este trabajo, se realizaron ensayos de aislamiento acústico de varios elementos constructivos de separación que se trasdosaban sucesivamente con elementos de fábrica con bandas en su perímetro y con diferentes uniones, de tal forma que se obtuvo evidencia de qué montajes limitan las transmisiones indirectas a través de los elementos de flanco.

Se trata de un trabajo experimental en el que se han realizado distintos ensayos en las instalaciones del laboratorio Acusttel. Se recurrió a dicho laboratorio porque contaban con unas cámaras formadas tres forjados soportados por una estructura de pilares de hormigón y cuyos cerramientos están formados por paredes de medio pie de ladrillo perforado. Por tanto, no se utilizaron las cámaras destinadas para ensayos acústicos normalizados, sino que se intentó que la disposición de los elementos ensayados simulase las condiciones de un edificio de viviendas. La figura 1 muestra la disposición de cámaras y el montaje base efectuado. A partir de dicho montaje base, se trasdosaron con fábrica de ladrillo, se modificaron las uniones con el flanco de fachada (unión 1) y con la tabiquería (flanco 2) y se realizaron los ensayos de aislamiento acústico.

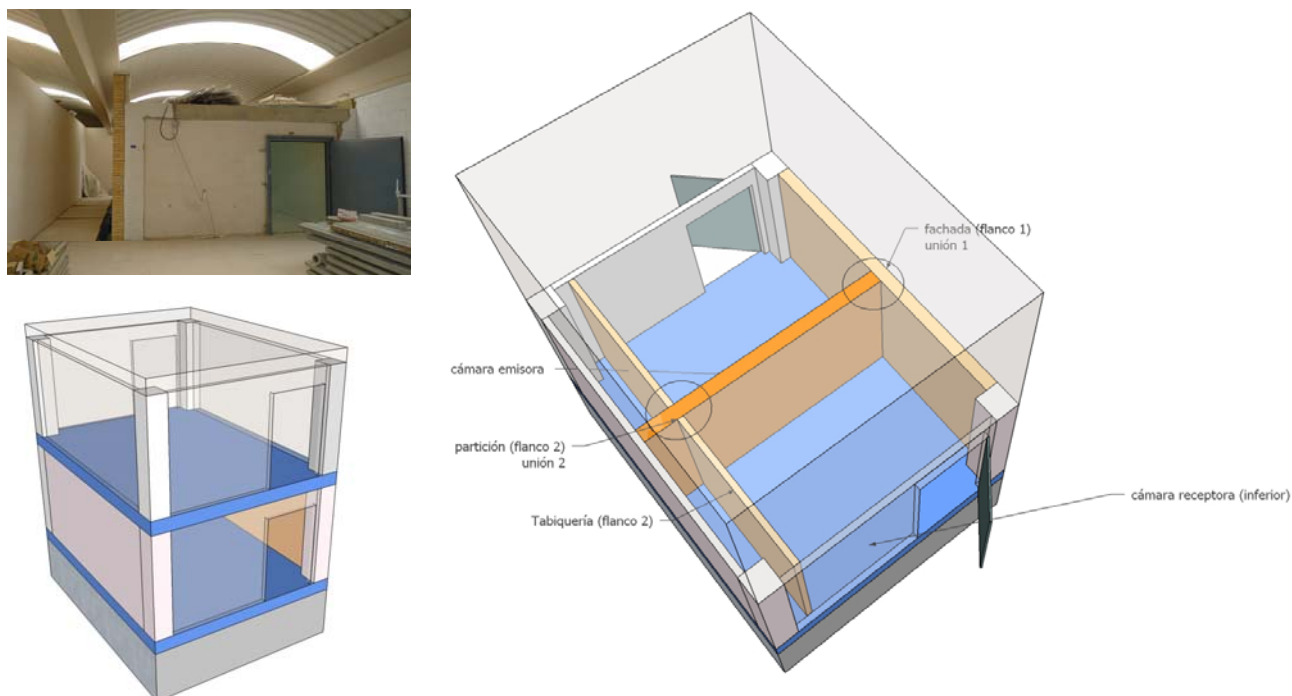


Figura 1. Situación de las cámaras y montaje base.

Se realizaron dos series de montajes. En la primera serie, denominada serie 2, se partía de una partición de medio pie de ladrillo perforado que dividía las cámaras en dos (Detalles del montaje en la figura 2. Montaje

base 2.0). Posteriormente se trasdosó con ladrillo hueco sencillo apoyado en bandas elásticas y separado 4 cm de la partición base. La cámara se rellenó de lana mineral. (Montaje 2.1). Posteriormente se fueron variando los montajes y variando las uniones de la siguiente forma.

- Montaje 2.1. Trasdosado de ladrillo hueco sencillo apoyado en bandas elásticas y lana mineral. El trasdosado se instaló sin ninguna intervención en los elementos de flanco: Fachada y tabiquería.
- Montaje 2.2. Modificación de la unión entre el trasdosado y el tabique (flanco 2), para minimizar la transmisión acústica entre el tabique y el elemento base.
- Montaje 2.3. Modificación de la unión entre el trasdosado y la fachada (flanco 1), para minimizar la transmisión acústica entre la fachada y el elemento base.
- Montaje 2.4. Modificación de la unión de fachada. Véase figura 2.

De forma análoga se realizó la serie 3 de montajes. Se partía de una partición de 70 mm de ladrillo hueco que dividía las cámaras en dos (Detalles del montaje en la figura 3. Montaje base 3.0). Posteriormente se trasdosó con ladrillo hueco sencillo apoyado en bandas elásticas y separado 4 cm de la partición base. La cámara se rellenó de lana mineral. (Montaje 3.1). Posteriormente se fueron variando los montajes y variando las uniones de la siguiente forma.

- Montaje 3.1. Trasdosado de ladrillo hueco sencillo apoyado en bandas elásticas y lana mineral. El trasdosado se instaló sin ninguna intervención en los elementos de flanco: Fachada y tabiquería.
- Montaje 3.2. Modificación de la unión entre el trasdosado y el tabique (flanco 2), para minimizar la transmisión acústica entre el tabique y el elemento base.
- Montaje 3.3. Modificación de la unión entre el trasdosado y la fachada (flanco 1), para minimizar la transmisión acústica entre la fachada y el elemento base.

De cada una de las fases se realizaron ensayos de aislamiento acústico. La elección de los elementos de separación no es arbitraria: Se eligieron una pared de medio pie de ladrillo perforado y una pared de ladrillo hueco, porque son representativas de las soluciones comunes dispuestas en la edificación española.

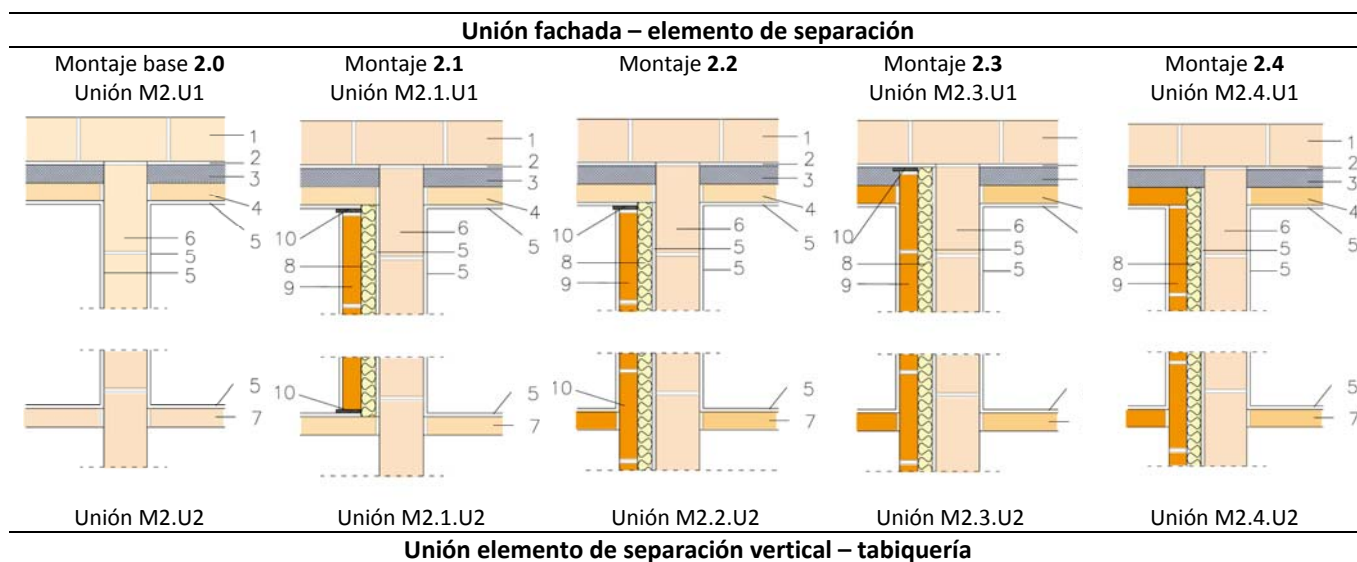


Figura 2. Serie de montajes 2. Sección horizontal por fachada y tabique. Codificación de las uniones ensayadas.

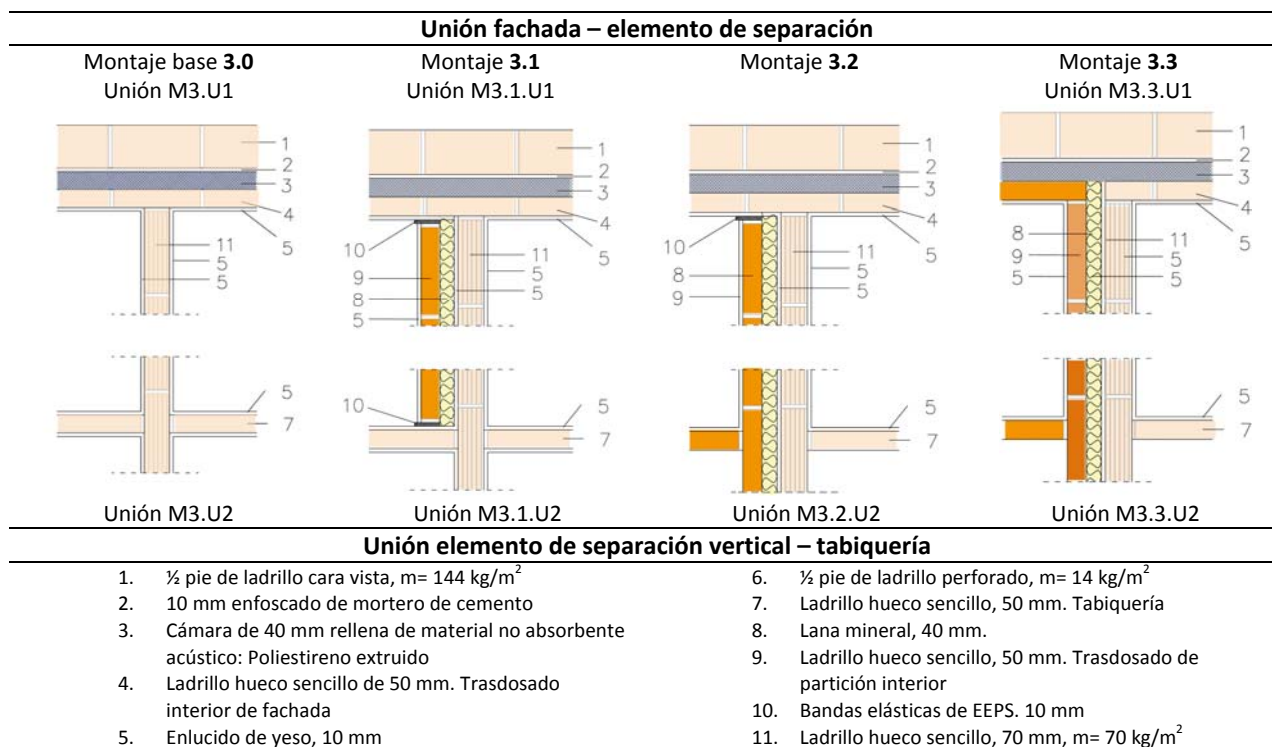


Figura 3. Serie de montajes 3. Sección horizontal por fachada y tabique. Codificación de las uniones ensayadas



Figura 4. Imágenes trasdosado cerámico y detalle unión 2.4 tabique- trasdosado.

3.3 RESULTADOS DE AISLAMIENTO ACÚSTICO OBTENIDOS

Las siguientes tablas 1 y 2 muestran los resultados de aislamiento acústico obtenidos. Como puede apreciarse la mejora de aislamiento acústico es progresiva. La mejora obtenida al trasdosar con ladrillo hueco no es elevada, sólo 3 y 4 dB en cada caso. Sin embargo, tras las sucesivas intervenciones en cada uno de los flancos (fachada y tabique) se ha llegado a una mejora de aislamiento de hasta 18 dB.

Tabla 1. Resultados de los ensayos de aislamiento acústico realizados en la serie 2. Montajes realizados a partir de ½ pie de ladrillo perforado.

	Base 2.0	Montaje 2.1	Montaje 2.2	Montaje 2.3	Montaje 2.4
$D_{nT,w}$	40,0	43,0	45,0	51,0	52,0
C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
C_{tr}	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-4,0
$D_{nT,A}$	40,0	43,0	45,0	52,0	52,0
Mejora					
$\Delta D_{nT,A} = D_{nT,A, montaje} - D_{nT,A, BASE}$		+3	+5	+12	+12

Tabla 2 Resultados de los ensayos de aislamiento acústico realizados en la serie 3. Montajes realizados a partir de 70 mm de ladrillo hueco

	Base 3.0	Montaje 3.1	Montaje 3.2	Montaje 3.3
$D_{nT,w}$	32,0	37,0	39,0	51,0
C	0,0	-1,0	-1,0	-1,0
C_{tr}	-3,0	-3,0	-3,0	-4,0
$D_{nT,A}$	32,0	36,0	38,0	50,0
Mejora				
$\Delta D_{nT,A} = D_{nT,A, montaje} - D_{nT,A, BASE}$		+4	+6	+18

La modificación de las uniones se realizó para eliminar las transmisiones indirectas. En los edificios, los elementos constructivos suelen estar rígidamente unidos entre sí, esto favorece la propagación del ruido estructural. Eliminar los contactos rígidos en las uniones, evita la propagación de ruido estructural entre los elementos constructivos y mejora el aislamiento acústico. Véase figura 6 en la que se explica en detalle las uniones de los montajes 2.1 y 2.4 y las vías de transmisión indirectas entre los elementos constructivos.

En el caso de los montajes 2.1 y 3.1, se ha instalado el trasdosado de la partición sin mejorar las uniones 1 y 2. A pesar de la actuación, la mejora global no es importante, sólo 3 y 4 dB. Sin embargo, al modificar la unión con la tabiquería y hacer que ésta no estuviera conectada con el elemento base de separación, (montajes 2.2 y 3.3), el resultado mejora en 5 y 6 dB. Cuando se realiza la misma operación en fachada y se modifica además la unión con la fachada (montajes 2.3, 2.4 y 3.3), el aislamiento del conjunto alcanza valores superiores a los 50 dBA, exigencia marcada por el DB HR entre unidades de uso. La figura 5 muestra las curvas de aislamiento acústico obtenidas.

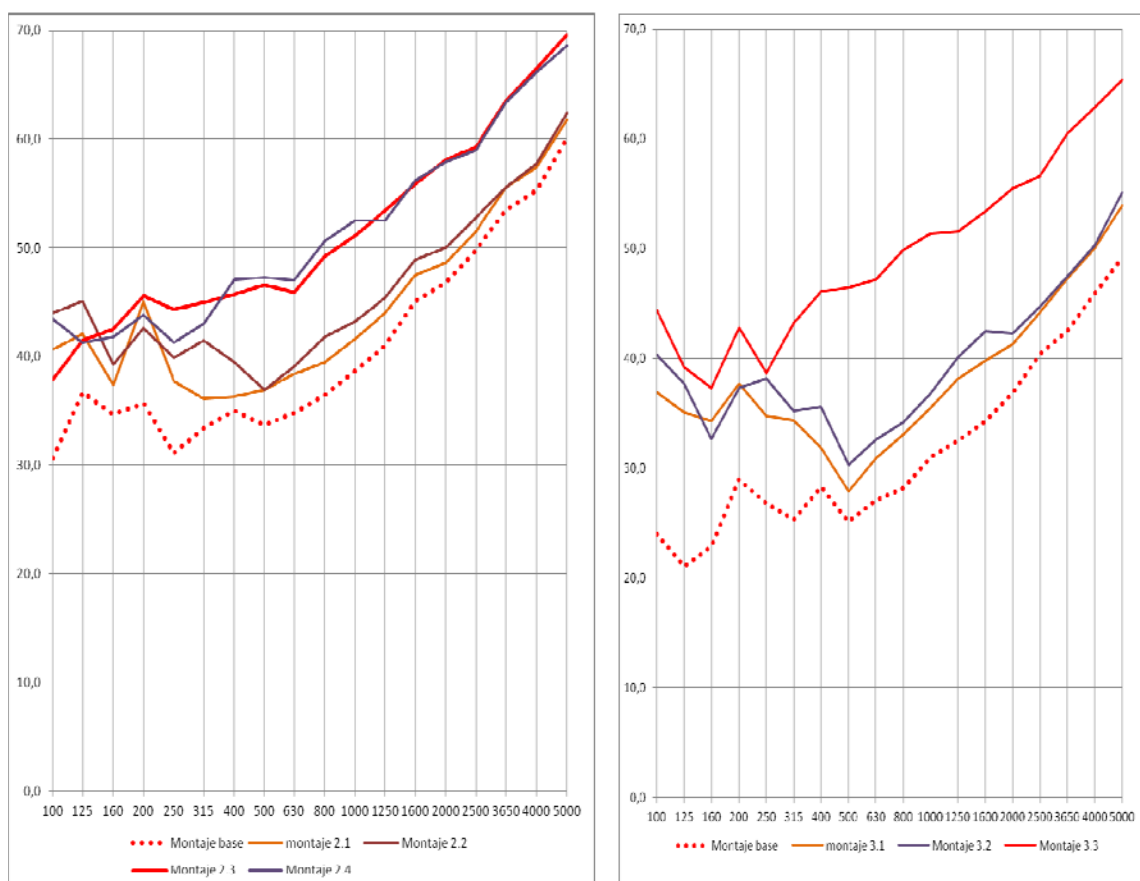


Figura 5. Curvas de aislamiento acústico obtenidas. Izquierda, serie 2. Montajes 2.0 a 2.4, sobre medio pie de ladrillo perforado. Derecha, serie 3, Montajes 3.0 a 3.3, sobre 70 mm de ladrillo hueco doble.

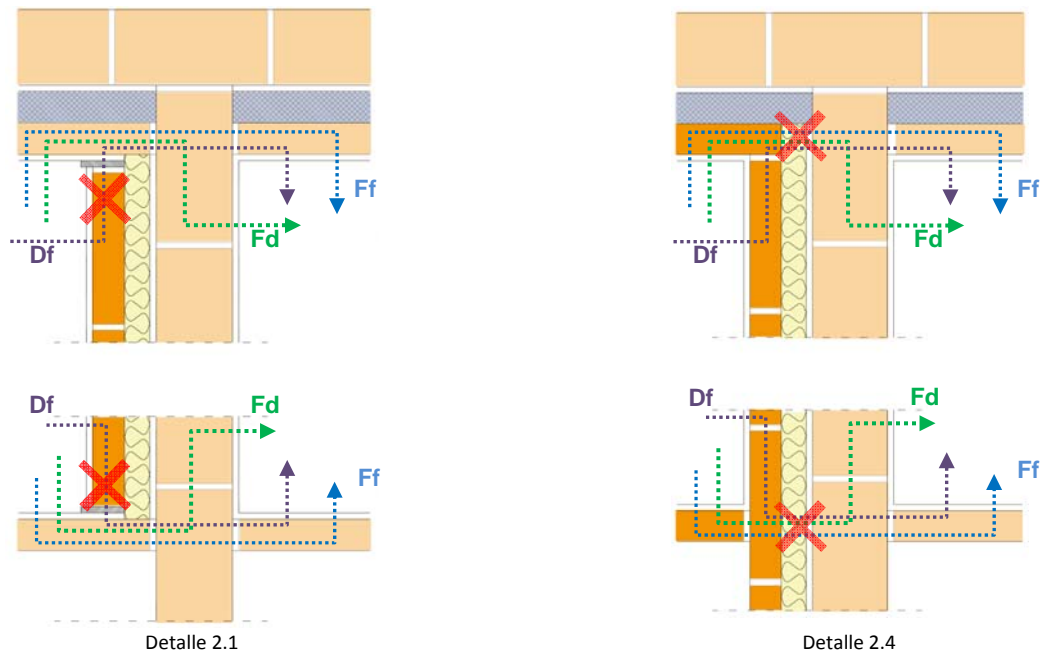


Figura 6. Detalle uniones montaje 2.1 (izquierda) y montaje 2.4 (derecha). En el montaje 2.1, las transmisiones flanco-directo (Fd) y flanco-flanco (Ff) son dominantes, tanto en la unión de fachada, como en la unión de tabiquería. La transmisión directo-flanco (Df) se reduce por el efecto de las bandas elásticas. En el montaje 2.4, la desconexión de la tabiquería y del trasdosado de fachada respecto de la hoja de ladrillo perforado minimizan las transmisiones indirectas.

4 TRANSMISIONES INDIRECTAS. ÍNDICES DE REDUCCIÓN VIBRACIONAL DE LAS UNIONES

Una de las formas de caracterizar la transmisión indirectas a través de las uniones es usando el índice de reducción vibracional de las uniones o K_{ij} . En este trabajo también se ensayaron los K_{ij} de la unión fachada-elementos de separación vertical y tabique- elemento de separación vertical de los diferentes montajes ejecutados, siguiendo el procedimiento descrito en las normas UNE EN ISO 10 848, partes 1 y 4.

El término K_{ij} es relevante porque también se usa en el método de cálculo de la UNE 12354 que estima el aislamiento acústico de los edificios y de hecho, la opción general de aislamiento acústico del DB HR es una simplificación de dicho método que también incluye los términos K_{ij} de las uniones.

El método de cálculo del DB HR evalúa la transmisión directa y las 12 transmisiones indirectas entre dos recintos. El siguiente esquema (figura 7) muestra dos recintos y las transmisiones que se producen a través de las uniones, que son:

- Dd: Directa, a través del elemento de separación, ya sea un forjado, una partición o una fachada.
- Ff: Directo – flanco
- Df: Directo – flanco
- Fd: Flanco- directo

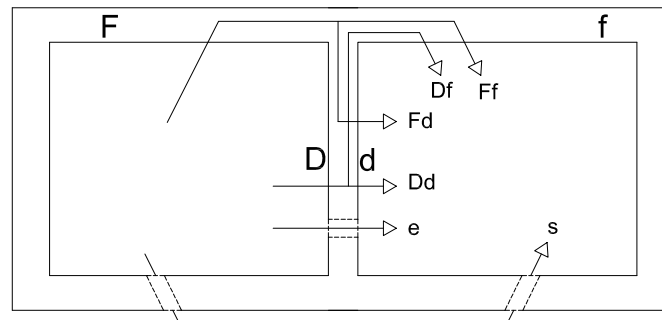


Figura 7. Vista en planta y en sección de dos recintos y las transmisiones indirectas que se producen entre ellos.

La ecuación 1 expresa la forma de calcular la transmisión por flancos de cualquier unión, en la que K_{ij} es un término que caracteriza. Como datos de partida se utilizan los índices de reducción acústica, R_A , de los elementos constructivos, conjuntamente con el aislamiento acústico de las uniones entre elementos constructivos, que es el índice de reducción vibracional de la unión o K_{ij} .

$$R_{ij} = \frac{R_i + R_j}{2} + \Delta R_{ij} + K_{ij} + 10 \lg \frac{S_s}{l_0 \cdot l_f} \quad (1)$$

Siendo:

- R_{ij} índice de reducción acústica para la transmisión indirecta del camino ij , (Ff , Df o Fd) en dB;
- R_i índice de reducción acústica del elemento de flanco i , en dB;
- R_j índice de reducción acústica del elemento de flanco j , en dB;
- ΔR_{ij} mejora del índice de reducción acústica, por efecto de *revestimientos* del elemento de flanco, del lado de la emisión y de la recepción, en dB;
- K_{ij} índice de reducción de vibraciones para el camino por flancos ij ($ij = Ff$; Fd o Df), en dB;
- S_s área compartida del elemento de separación, en m^2
- l_f longitud común de la arista de unión entre el elemento de separación y los elementos de flancos i y j , en m;
- l_0 longitud de la arista de unión de referencia, de valor $l_0 = 1$ m.

De tal forma que cuanto mayor es el término K_{ij} , mayor es el aislamiento acústico de la unión.

Las figuras 8 y 9 muestran la comparación entre los valores de K_{ij} en el camino de transmisión Ff a través de la hoja interior de la fachada (figura 8) y a través de la tabiquería (figura 9) de los diferentes montajes. En ambas figuras puede observarse dos grupos de valores:

- Los valores de K_{ij} de las uniones en las que la hoja interior de la fachada conecta las dos hojas del elemento de separación vertical, uniones M2.1.U1, M3.1.U1, M2.1.U2 y M3.1.U2. También se han representado las transmisiones Ff de los montajes base de partida. Montaje base 2 y 3.
- Los valores de K_{ij} uniones en las que no existe conexión entre las dos hojas de fábrica (uniones M2.2.U1, M2.3.U1, M2.4.U1, M3.3.U1 y M3.2.U1).

En ambas figuras se observa un incremento en el índice K_{ij} cuando no existe conexión entre las dos hojas que forman el elemento de separación vertical, que es en parte, el motivo del aumento de aislamiento acústico ($D_{nT,A}$) en cada uno de los montajes.

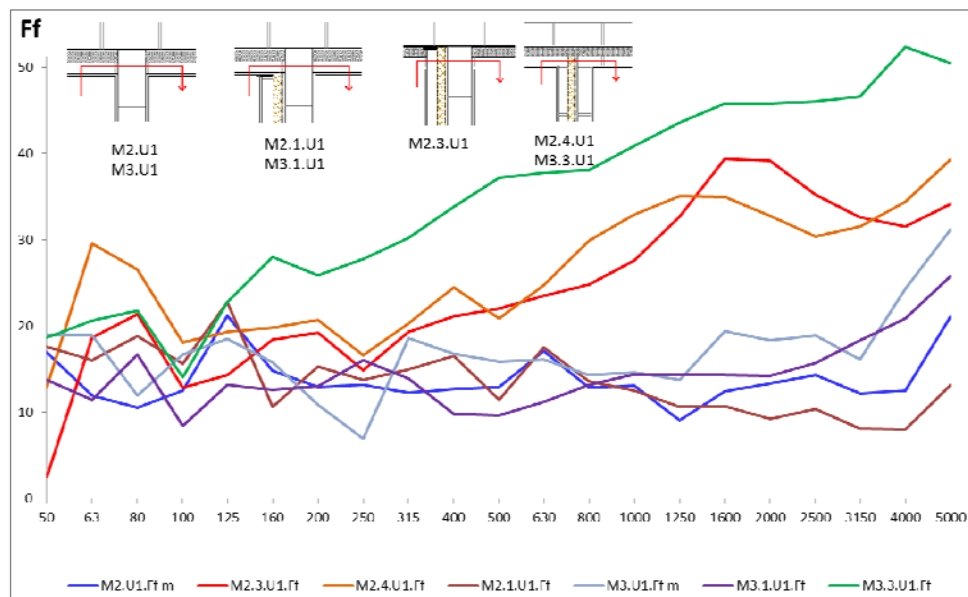


Figura 8. Valores ensayados del índice K_{ij} en el camino Ff a través de la hoja interior de la fachada de los montajes realizados.

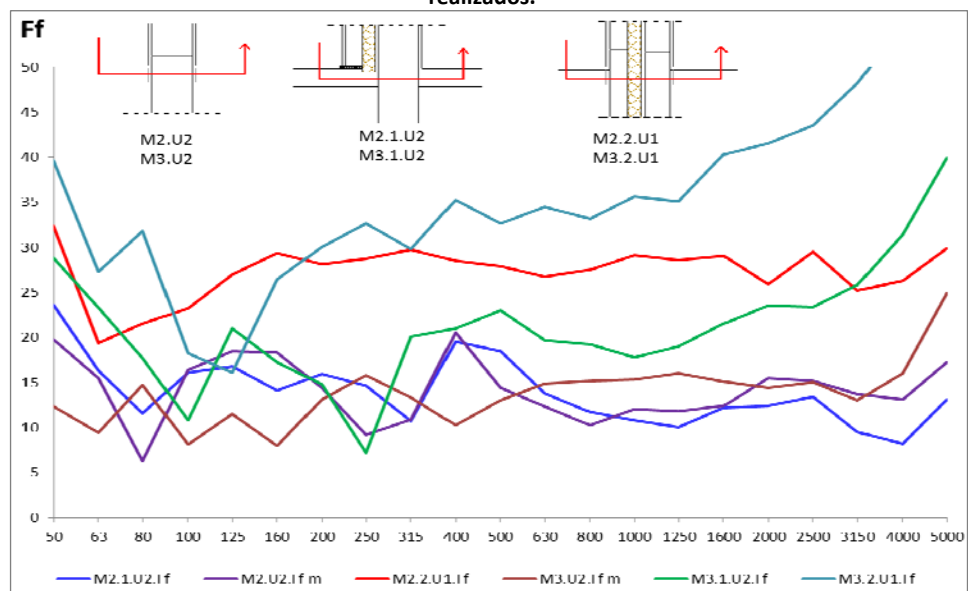


Figura 9. Valores ensayados del índice K_{ij} en el camino Ff a través de la tabiquería de los montajes realizados.

Las figuras 10 y 11 muestran una comparación de resultados de ensayo de K_{ij} y resultados calculados según las expresiones del Anejo D del DB HR.

La figura 10 muestra los resultados para la transmisión Ff en los montajes M2 y M2.1 (derecha) y en los montajes M3 y M3.1 (izquierda). Se han agrupado de esta manera los resultados porque en ellos la hoja interior de la fachada o el tabique es continuo y está en contacto con las dos caras del mismo elemento de separación vertical. Puede observarse una buena relación entre los valores calculados y los obtenidos mediante ensayo.

La figura 11 muestra la comparación de resultados de ensayo de K_{ij} y resultados calculados para los montajes M2.2, M2.3 y M2.4 (derecha) y los montajes M3.2 y M3.3 (izquierda). En estos casos, los valores de K_{ij} obtenidos son mayores que los de las uniones anteriores, pero ligeramente inferiores a los que se pueden obtener con el DB HR, sin embargo, es previsible que estas diferencias no sean significativas en un cálculo global de aislamiento acústico.

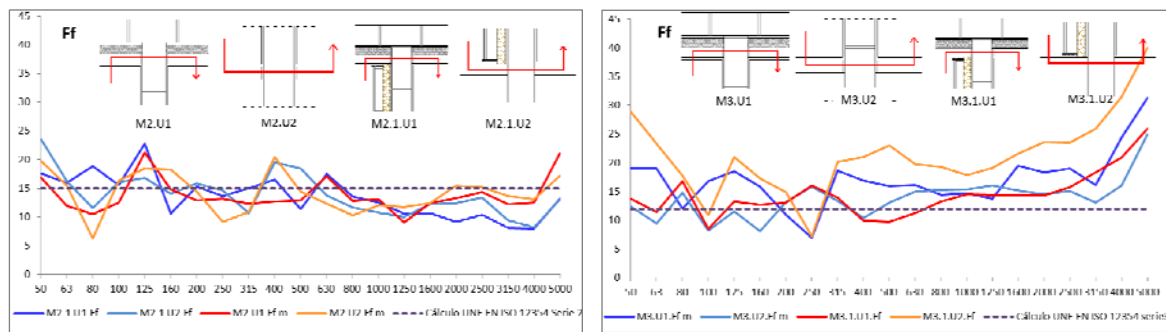


Figura 10. Valores ensayados del índice K_{ij} en el camino Ff los montajes 2 y 2.1 (Izq) y los montajes 3 y 3.1 (Der)

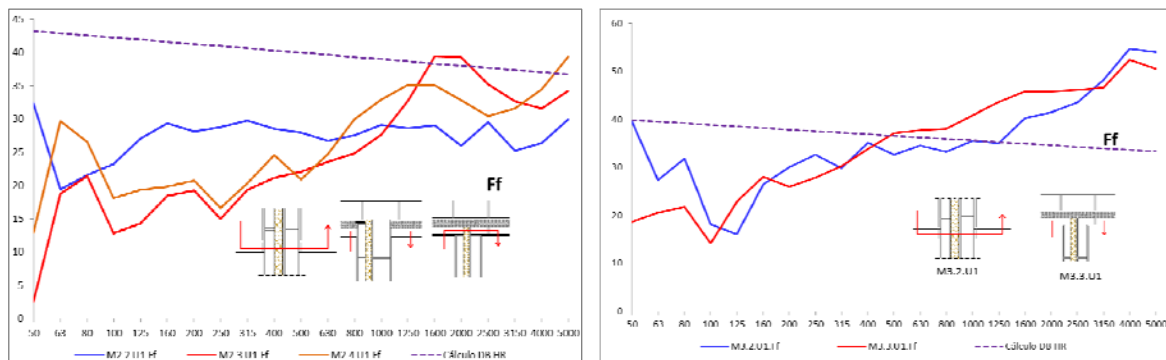


Figura 11. Valores ensayados del índice K_{ij} en el camino Ff los montajes 2.2, 2.3 y 2.4 (Izq) y los montajes 3.2 y 3.3 (Der)

5 CONCLUSIONES

Para conseguir el aislamiento acústico adecuado es necesario tener en cuenta el diseño de los elementos constructivos de separación así como las uniones y la ejecución. El trabajo realizado muestra que es vital controlar las transmisiones indirectas a través de los tabiques o trasdosados que acometen al elemento de separación si se necesita mejorar el aislamiento acústico entre recintos. Esto se consigue mediante un diseño preciso de los encuentros en el que se desconecten los distintos materiales o se introduzcan elementos constructivos resilientes o elásticos en las uniones, de tal forma que las transmisiones indirectas sean mínimas.

El trabajo realizado muestra que es posible trasdosar con ladrillo hueco sencillo apoyado sobre bandas y conseguir unas mejoras de aislamiento significativas, de hasta 18 dB si se ejecutan correctamente las uniones. Es una solución conveniente para las rehabilitaciones o intervenciones en edificios existentes, que consigue aislamientos finales que cumplen el DB HR con un aumento de espacio de aproximadamente de 9 cm.

El estudio comparativo de las transmisiones indirectas entre las uniones muestra que los valores del índice de reducción de vibraciones, K_{ij} son superiores en el caso de las uniones en las que las dos hojas del elemento de separación vertical están desconectadas, es decir, el aislamiento de la unión es mayor.

6 AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración de la Asociación Española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas de Arcilla Cocida, Hispalyt, que ha proporcionado los materiales para la realización de los ensayos.

7 REFERENCIAS

Carrascal García; M^a Teresa. Romero Fernández, Amelia. Caracterización acústica de elementos constructivos habituales en la edificación residencial española, mediante ensayos en obra y en laboratorio. I Jornadas de investigación en la construcción. Madrid, 2 al 4 de junio de 2005. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja

Catálogo de Elementos Constructivos del CTE. Marzo 2010.

http://www.codigotecnico.org/cte/opencms/web/galerias/archivos/CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf

Cyril M. Harris. Noise Control in buildings. Ed. Mc. Graw-Hill, 1994.

Documento Básico DB HR Protección frente al ruido con comentarios.

http://www.codigotecnico.org/cte/export/sites/default/web/galerias/archivos/HR_comentado.pdf

Encuesta de condiciones de vida del Instituto Nacional de Estadística. www.ine.es

UNE EN 12354-1: 2000 Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 1: Aislamiento acústico del ruido aéreo entre recintos. (EN 12354-1:2000)

UNE EN ISO 10848-1:2006. Acústica. Medida en laboratorio de la transmisión por flancos del ruido aéreo y del ruido de impacto entre recintos adyacentes. Parte I. Documento Marco.

UNE EN ISO 10848-4:2011. Acústica. Medida en laboratorio de la transmisión por flancos del ruido aéreo y del ruido de impacto entre recintos adyacentes. Parte 4. Aplicación a las juntas con la menos un elemento pesado.

Ejemplos de rehabilitación para el aislamiento y el acondicionamiento acústico

Alejandro José Sansegundo Sierra

Arquitecto. Especialista acústico en la Construcción, por la U.P.M.

Resumen

Durante el ejercicio de mi profesión, han sido muchas las intervenciones de rehabilitación acústica, ya que en muchos casos, el cambio de uso de un local en planta baja, implicaba la intervención para incrementar su aislamiento acústico.

Es necesario conocer cuál es el aislamiento inicial de ese recinto (mediciones in situ) respecto a los recintos colindantes y su uso, para compararlo con las exigencias de la Normativa, generalmente con una Ordenanza Municipal.

Conocido este valor, se aportan unas medidas correctoras que han de justificarse como eficaces para alcanzar, no sólo el grado de aislamiento necesario, sino además, que los niveles sonoros transmitidos a otras estancias o al exterior, debido a la actividad y a sus instalaciones, cumplan con la Ordenanza correspondiente o el RD1367.

Como complemento importante a un proyecto bien definido, la obra ha de contar con una empresa experimentada y con un adecuado control, hasta el momento final.

En cuanto al acondicionamiento acústico, el proceso es similar. Se ha de conocer cuál es el tiempo de reverberación inicial y el que se necesita al final, para aportar los revestimientos adecuados.

Siguiendo estos pasos, toma de datos in situ, proyecto adecuado, ejecución correcta y control especializado, nos acercarán al resultado deseado.

1 CAUSAS QUE PROVOCAN UNA REHABILITACIÓN

1.1 Deficiencias de proyecto

Desde el comienzo del desarrollo del proyecto, hasta el momento de la ejecución y puesta en obra, hemos de tener en cuenta la mejor solución de diseño para evitar colindancias no recomendables (véase figura 1), debido a los posibles problemas adicionales que conllevan, como son los recintos de instalaciones o de actividad con recintos protegidos.

Si a esta posible ausencia de sensibilidad por parte del autor del proyecto, añadimos la selección de un sistema constructivo inadecuado, una falta de obra especializada y un escaso control de obra, nos encontraremos ante una incorrecta instalación, con un dudoso resultado. (Véase figura 2)

Todos estos puntos se han de evitar.

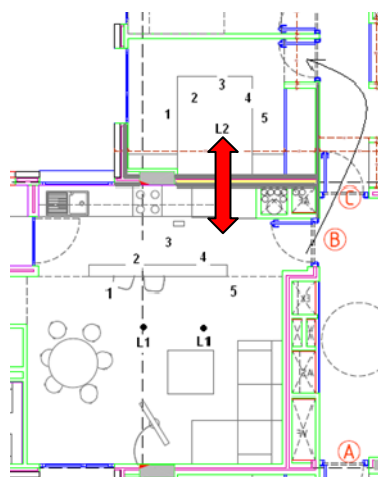


Figura 1. Deficiencias de diseño



Figura 2. Deficiencias de ejecución

1.2 Deficiencias de resultados final

Al llegar al momento de la comprobación final del objetivo de aislamiento mínimo a conseguir y de los niveles máximos a no superar, nos enfrentamos a la realidad de la situación.

Si existe un incumplimiento de la Normativa, ya sea por defecto de aislamiento (DBHR) o por exceso del nivel sonoro transmitido (RD 1367 y Ordenanzas Municipales), (tabla 1), nos veremos inmersos en un proceso de rehabilitación forzado, con duras consecuencias posteriores, fundamentalmente económicas.

Tabla 1. Tabla comparativa de exigencias - resultados

ESTANCIA L2	DnT,A	Exigencia	L2	L2 max
1ºD DORM 1	43	50	42	30
1ºD DORM 2	44	50	40	30
1ºD SALON	42	50	38	35
1ºC SALON	46	50	36	35
1ºC DORM 1	47	50	34	30

1.3 Cambios de uso en el emisor o receptor

En muchas ocasiones, el cambio de uso de las estancias, conlleva un cambio de Normativa a aplicar y por lo tanto cambio de las exigencias a conseguir.

Algunos ejemplos que podríamos mencionar son: una nave industrial que pasa a ser un plató de televisión, un local comercial que se convierte en vivienda y colinda con una actividad de pública concurrencia molesta, o un salón de una vivienda que se transforma en cocina y colinda con un recinto protegido. (Véase figura 3)

Los cambios de uso de un recinto pueden llevar consigo cambios de exigencias, planteando nuevas soluciones de aislamiento o de acondicionamiento acústico.

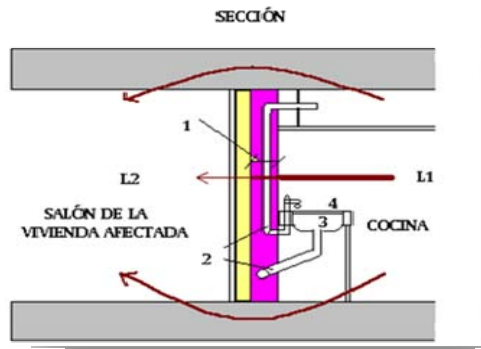


Figura 3. Cambio de uso en una de las estancias colindantes.

1.4 Mejora de los materiales existentes

En general, los cambios de materiales y de sistemas constructivos, deben conllevar mejoras sustanciales para la edificación (aligerar peso, mejora del aislamiento térmico, disminución del espacio consumido, etc.), (véase figura 4), sin perjudicar alguna de ellas por intentar mejorar otras.

Los cambios han de plantearse con el objetivo del no empeoramiento de lo existente, acompañados de su justificación.



Figura 4. Cambio de materiales.

2 Tipología de la intervención en función de su situación espacial

Las intervenciones acústicas en la edificación y en su entorno, pueden ser de varios tipos, en función de dónde se realicen, ya sean en el interior del edificio, en el exterior del mismo o en el entorno ambiental próximo a él.

Nos centraremos en este caso, al interior de la edificación, en donde podemos encontrarnos con las siguientes actuaciones, en las que necesitaremos intervenir:

2.1 En interior de la edificación

2.1.1 De aislamiento acústico: En paramentos verticales y en horizontales.

Contamos con trasdosados, ligeros o pesados, con suelos flotantes (véase figura 5), techos suspendidos, sellados de los paramentos, etc.

2.1.2 De acondicionamiento acústico: En las superficies que conforman el recinto a tratar.

Disponemos de revestimientos y sistemas que mejoran la calidad acústica del recinto.

2.1.3 De mejora y reducción de los niveles sonoros provocados por las instalaciones.

Mediante sistemas y materiales amortiguantes, silenciadores, apantallamientos, etc., Unos evitan puentes acústicos y transmisiones por vía sólida, otros disminuyen el nivel sonoro en el punto receptor.

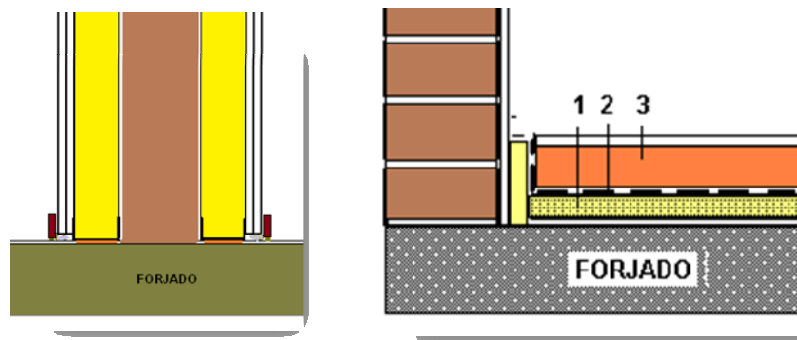


Figura 5. Sistemas de incremento de aislamiento en la construcción, vertical y horizontal.

3 Pasos para afrontar un problema acústico.

Para analizar correctamente un problema acústico, es recomendable acometer los siguientes pasos:

3.1 Conocer el aislamiento inicial

Para ello realizaremos si fuese posible, mediciones in situ que nos aporten información del comportamiento acústico de los recintos analizados. Los resultados los compararemos con la Normativa y nos servirán para avanzar con el problema. (Véase la figura 6)

3.2 Desarrollar las medidas correctoras para resolver el problema

En base a los resultados del estado inicial, el análisis de los paramentos y su composición, se aportan medidas correctoras necesarias.

3.3 Evaluar la cuantía de la mejora

Al conocer la situación inicial y compararla con la Normativa a aplicar, nos indicará la necesidad de la mejora, es decir, la cuantía del incremento que hemos de conseguir.

3.4 Justificar la mejora

A través del catálogo de elementos constructivos del Ministerio, de ensayos in situ, de ensayos de laboratorio y fuentes acreditadas (véase la figura 6), podemos aproximar el dato de la mejora estimada que vamos a conseguir, valor indispensable para evaluar el alcance de nuestra intervención.



Figura 6. Conocer el aislamiento inicial mediante mediciones in situ y valorar la solución que alcance la mejora necesaria del mismo, mediante datos acreditados.

4 Ejemplos de intervenciones de rehabilitación acústica.

En general el proceso pasa por varias etapas:

4.1 Identificar los usos de las actividades y de las estancias colindantes

4.2 Conocer la Normativa a aplicar.

4.3 Realizar mediciones in situ o estimar en función del sistema constructivo existente.

4.4 Medidas correctoras a implantar.

4.1.1 Cambio de uso: De local comercial colindante con vivienda, a restaurante

Este cambio de uso, de una actividad no molesta por otra que sí lo es, es uno de los casos más frecuentes. El punto de partida es la de conocer su aislamiento inicial respecto a la estancias colindantes (por ejemplo con una vivienda, zona de dormitorios y salones).

En este caso, el documento básico DBHR, no es de aplicación, pero sí la Ordenanza Municipal de la ciudad.

Se realizan mediciones in situ para determinar el punto de partida y para conocer la cuantía del incremento de aislamiento que debemos aportar.

En base a estos datos, se desarrollan las medidas correctoras adecuadas. (Véase la figura 7).

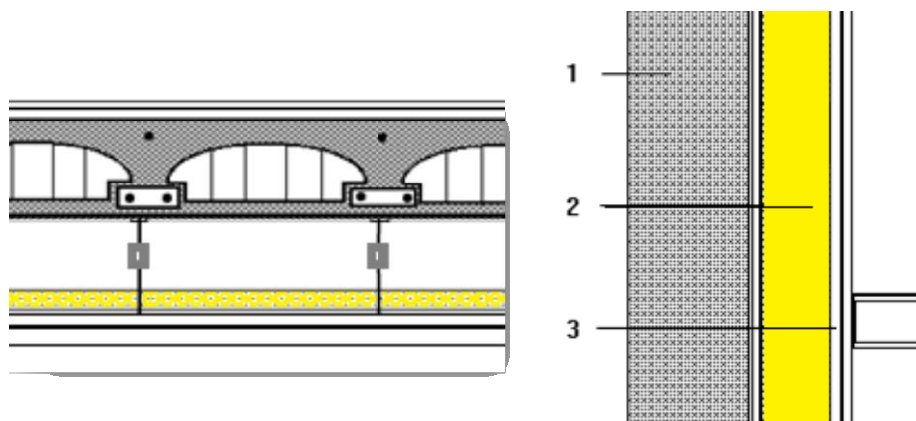


Figura 7. Sistemas flotantes para el techo y las paredes perimetrales del recinto.

4.1.2 Cambio de uso: De oficinas a hotel con restaurante en planta baja

Este cambio de uso, al igual que en el anterior, el punto de partida es el de conocer su aislamiento inicial respecto a las estancias colindantes, como son entre las estancias de la primera planta (habitaciones) y el restaurante en planta baja.

Al ser una rehabilitación que afecta a la totalidad del edificio, el documento básico DBHR, si es de aplicación, así como la Ordenanza Municipal de la ciudad, al uso de restaurante.

Se realizan mediciones in situ para determinar el punto de partida y conocer la cuantía del incremento de aislamiento que debemos aportar. (Véase la figura 8). Además se tendrán en cuenta los niveles sonoros transmitidos por las instalaciones, tanto al interior (habitaciones), como al exterior (patios o fachada)



Figura 8. Mediciones in situ y comparación de resultados con la Normativa vigente.

Se desarrollan las medidas correctoras adecuadas, para las soluciones entre las unidades de uso del hotel, basándose inicialmente en la opción simplificada del DBHR.

Respecto al restaurante, necesitará sistemas flotantes para incrementar el aislamiento respecto a la planta primera de habitaciones del hotel.

4.1.3 Cambio de uso: De oficinas a hotel con restaurante en planta de cubierta

Nuevamente se trata de una reforma integral que afecta a todo el edificio. El documento básico DBHR, sí es de aplicación, así como la Ordenanza Municipal de la ciudad, para la actividad de restaurante en la cubierta del edificio. Además se tendrán en cuenta los niveles sonoros transmitidos por las instalaciones.

El punto de partida es el de conocer el aislamiento inicial respecto a las estancias colindantes (habitaciones) y entre el restaurante situado en la planta de cubierta y las habitaciones de la planta inferior, realizando mediciones in situ.

De esta forma conoceremos la cuantía del incremento de aislamiento que debemos aportar. Se definen los sistemas de compartimentación entre las unidades de uso, (véase la figura 9), basándose inicialmente en la opción simplificada del DBHR.

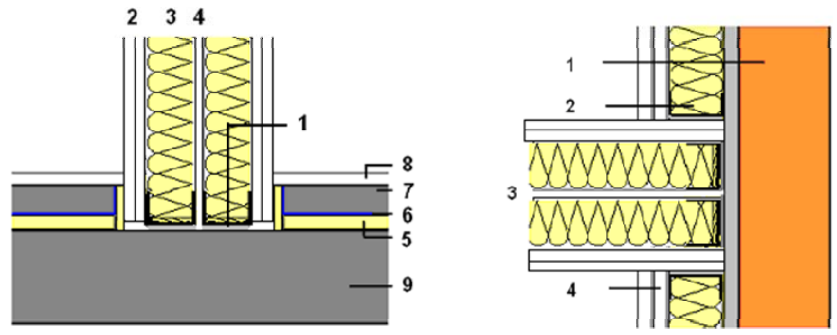


Figura 9. Sistemas constructivos a implantar para el cumplimiento del DBHR.

En cualquiera de los tres casos hasta ahora comentados, el trabajo terminaría con una medición acústica del resultado final de nuestra intervención.

4.1.4 Cambio de uso: De espacio sin uso concreto, a aulas de docencia (COAM)

En este caso, la nueva sede del actual Colegio de Arquitectos de Madrid, plantea aportar un uso a una planta diáfana, hasta el momento sin definir, destinándose a aulas de docencia.

Se trata de una reforma parcial que no afecta a todo el edificio. El documento básico DBHR, no es de aplicación, No obstante el objetivo es el de alcanzar valores de aislamiento acústico próximos a D_{nTA} de 50 dB, es decir al exigido a la separación entre recintos protegidos de diferentes unidades de uso, como son las aulas.

Tras el análisis del proyecto inicial se realizaron modificaciones debido a la existencia de un suelo técnico por el que transcurrían instalaciones y ponían en conexión acústica las aulas. (Véase la figura 10)

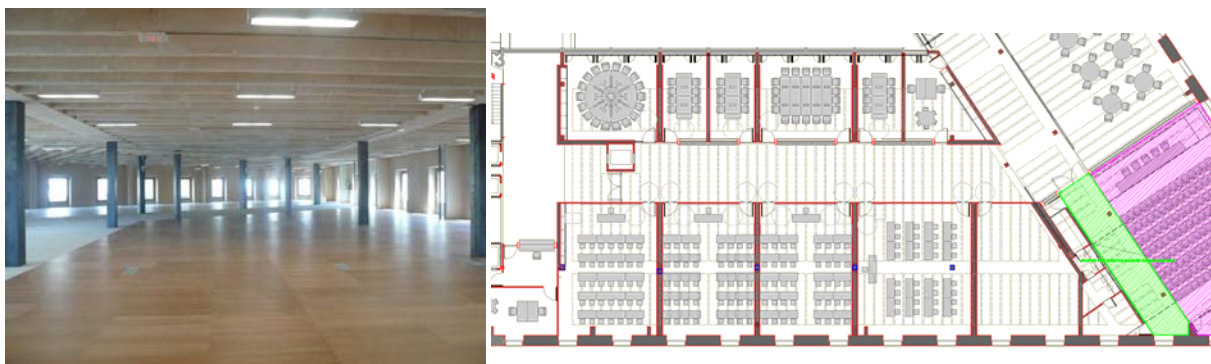


Figura 10. Compartimentación de la planta diáfana para aulas de docencia y salón de actos.

Se cambió el recorrido de los sistemas de climatización, para evitar puentes acústicos entre las aulas, se prolongaron las separaciones verticales entre las aulas hasta el forjado, y se emplearon sistemas de doble perfilería de placa de yeso laminado, según el tipo 3, del DBHR.

Una vez realizada la obra se ha procedido a realizar mediciones de comprobación del aislamiento entre las aulas, aulas y pasillo, y del tiempo de reverberación en cada una de ellas.

Este último punto está en proceso de selección de materiales para reducirlo ya que el valor se encontraba muy elevado, entorno a los 2,5s. Hemos de recordar que el propio DBHR, impone un tiempo de reverberación para este tipo de casos, inferior a 1 s.



Figura 11. Mediciones in situ de aislamiento y del tiempo de reverberación.

4.1.5 Cambio de uso: de oficina a plató de televisión

La preocupación más importante de las personas que van a ejercer esta actividad, es la del control del tiempo de reverberación del recinto.

Se han realizado mediciones in situ para determinar el punto de partida, definir las superficies a tratar y los materiales a disponer para que el $t(s)$ fuese el adecuado, intentando satisfacer al cliente en el aspecto decorativo.

La exigencia del usuario era el de disponer de un tiempo de reverberación inferior a 1s y las mediciones del estado inicial indicaron que el valor era superior a 2s. (Véase la figura 12)



Figura 12. Mediciones in situ del tiempo de reverberación.

Además de esta exigencia de uso, las instalaciones deben cumplir con la OPCAT (Ordenanza de Madrid), para los valores de máxima transmisión al exterior.

Por lo tanto se procedió a analizar las instalaciones de climatización y tratamiento del aire, por si fuera necesario colocar algún silenciador o apantallamiento acústico.

REFERENCIAS

Real Decreto 1367/2007, 19 de Octubre, por el que se desarrolla la Ley del Ruido del 17 de Noviembre de 2003

Documento Básico DBHR BOE 2009, 17 de Abril.

OPCAT, Ordenanza de Protección contra la Contaminación Acústica y Térmica de Madrid, del 25 de Febrero de 2011.

OPACFE, Ordenanza de Protección de la Atmósfera contra la Contaminación por formas de Energía. 31 de Mayo de 2004

S12

Acústica de la edificación. Normativa, rehabilitación y casos prácticos

PATROCINA EL SEMINARIO

COLABORA



Con el apoyo de



MUSEO NACIONAL DEL PRADO

Patrocina el curso



Colabora



Publicaciones IETcc-CSIC

